

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X (Print)
ISSN 2658-6991 (Online)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №9



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1955 г. WWW.RIFSM.RU WWW.JOURNAL-CM.RU СЕНТЯБРЬ 2021 г. (795)



Темы номера:

- **Керамические строительные материалы**
 - **Современные бетоны**
- **Результаты научных исследований**



ДИАЛОГ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

21 октября 2021

Москва



www.construction-dialog.ru

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®

№ 9

Основан в 1955 г.

(795) Сентябрь 2021 г.

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

Керамические строительные материалы

Г.И. СТОРОЖЕНКО, В.В. ГОНЕЕВ, Н.Я. БЕСКРОВНЫЙ, А.С. КУЗНЕЦОВА

**Перспективы развития отрасли строительных материалов Кузбасса
на базе Барзасской группы месторождений 4**

В.Д. КОТЛЯР, Ю.В. ТЕРЁХИНА, С.М. АЛМАЗОВ, А.В. КОТЛЯР, Р.А. ЯЦЕНКО

**Глины Малоархангельского месторождения — перспективное сырье
для керамических материалов 8**

Главный форум российских керамиков (Информация) 14

Г.И. СТОРОЖЕНКО, Т.Е. ШОЕВА, В.В. ПШЕННИКОВА

**Исследование сырьевых материалов Западной Сибири
для производства керамических облицовочных материалов 23**

В.А. ГУРЬЕВА, В.В. ДУБИНЕЦКИЙ

**Химический метод активации карбонатсодержащих сырьевых компонентов
в технологии производства керамического кирпича методом полусухого прессования 28**

Современные бетоны

В.С. ЛЕСОВИК, Р.С. ФЕДЮК, А.М. ГРИДЧИН, Г. МУРАЛИ

Повышение эксплуатационных характеристик защитных композитов 32

Е.А. САДОВСКАЯ, Е.Н. ПОЛОНИНА, С.Н. ЛЕОНОВИЧ, С.А. ЖДАНOK, В.В. ПОТАПОВ

**Критический коэффициент интенсивности напряжений при поперечном сдвиге
для нанопибробетона 41**

Результаты научных исследований

М.Ш. САЛАМАНОВА

Современные подходы к получению бесклинкерных вяжущих щелочной активации 48

М.В. ГРАВИТ, Ю.Г. ЛАЗАРЕВ, Е.С. ВАСЮТКИН, А.В. МАЛЬЧЕВА, М.А. СЕМЕНОВ

Пожарная опасность композитных материалов 54

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®

№ 9

Founded in 1955 (795) September 2021

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

Ceramic building materials

G.I. STOROZHENKO, V.V. GONEEV, N.Ya. BESKROVNY, A.S. KUZNETCOVA

Prospects for the Development of the Kuzbass Construction Materials Industry

on the Basis of the Barzas Group of Fields. 4

V.D. KOTLYAR, Yu.V. TEREKHINA, S.M. ALMAZOV, A.V. KOTLYAR, R.A. YASHENKO

Clays of the Maloarkhangelskoye Deposit are Promising Raw Materials for Ceramic Materials. 8

The Main Forum of Russian Ceramists (Information). 14

G.I. STOROZHENKO, T.E. SHOEVA, V.V. PSHENNIKOVA

Research of Raw Materials of Western Siberia for the Production of Ceramic Facing Materials. 23

V.A. GUR'EVA, V.V. DUBINECKIY

Chemical Method for Activation of Carbonate-Containing Raw Materials in the Technology

of Production of Ceramic Bricks by Semi-Dry Pressing. 28

Modern concretes

V.S. LESOVIK, R.S. FEDIUK, A.M. GRIDCHIN, G. MURALI

Improving the Operational Characteristics of Protective Composites. 32

E.A. SADOVSKAYA, E.N. POLONINA, S.N. LEONOVICH, S.A. ZHDANOK, V.V. POTAPOV

Critical Stress Intensity Coefficient at Transverse Shear for Nanofibrobeton. 41

Results of scientific research

M.Sh. SALAMANOVA

Modern Approaches to Obtaining Clinker-Free Binders of Alkaline Activation. 48

M.V. GRAVIT, Yu.G. LAZAREV, E.S. VASYUTKIN, A.V. MALCHEVA, M.A. SEMENOV

Fire Hazard of Composite Materials. 54

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)

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)

КОТЛЯР В.Д.,

д-р техн. наук, профессор (Ростов-на-Дону)

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)

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)

KOTLYAR V.,

Doctor of Science (Engineering), Professor (Rostov-on-Don)

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)

Г.И. СТОРОЖЕНКО¹, д-р техн. наук (storojenko_gi@mail.ru); В.В. ГОНЕЕВ², инженер, директор; Н.Я. БЕСКРОВНЫЙ³, инженер, директор; А.С. КУЗНЕЦОВА⁴, инженер, аспирант

¹ Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113)

² ООО «Барзасская экспедиция» (650065, Кемеровская обл., Кемерово, Московский пр., 41/1)

³ ООО «ГЕОС-Т» (654066, Кемеровская область, г. Новокузнецк, ул. Водная, 33)

⁴ Сибирский государственный индустриальный университет (654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Перспективы развития отрасли строительных материалов Кузбасса на базе Барзасской группы месторождений

Представлен обзор нерудных полезных ископаемых Барзасской группы месторождений Кузбасса, описаны их свойства, результаты практических исследований и промышленных апробаций. Показана перспектива их использования для выполнения распоряжения Правительства РФ № 868-р, утвердившего Стратегию развития промышленности строительных материалов на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу до 2030 г. в части развития территорий и промышленности строительных материалов региона. В частности, при комплексной разработке Барзасской группы месторождений Кузбасса может быть налажено производство строительной и тонкой керамики, огнеупорных материалов, отделочного камня, щебня, песчано-гравийных смесей.

Ключевые слова: Барзасская группа месторождений, глины огнеупорные основные, высокоосновные, высокоглиноземистые, пигменты, бокситы, диабазы, габбро.

Для цитирования: Стороженко Г.И., Гонеев В.В., Бескровный Н.Я., Кузнецова А.С. Перспективы развития отрасли строительных материалов Кузбасса на базе Барзасской группы месторождений // *Строительные материалы*. 2021. № 9. С. 4–7.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-4-7>

G.I. STOROZHENKO¹, Doctor of Sciences (Engineering) (storojenko_gi@mail.ru);

V.V. GONEEV², Engineer; N.Ya. BESKROVNY³, Engineer; A.S. KUZNETCOVA⁴, Engineer

¹ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (113, Leningradskaya Street, Novosibirsk, 630008, Russian Federation)

² "Barzasskaya Ekspeditsiya" LLC (41/1, Moskovskij Avenue, Kemerovo, 650065, Kemerovo Region, Russian Federation)

³ "GEOS-T" LLC (33, Vodnaya Street, Novokuznetsk, 654066, Kemerovo Region, Russian Federation)

⁴ Siberian State Industrial University (42, Kirov Street, Novokuznetsk, 654007, Kemerovo Region, Russian Federation)

Prospects for the Development of the Kuzbass Construction Materials Industry on the Basis of the Barzas Group of Fields

The review of non-metallic minerals of the Barzas group of Kuzbass deposits is presented, their properties, the results of practical research and industrial approbation are described. The prospect of their use for the implementation of the Decree of the Government of the Russian Federation No. 868-r, which approved the Strategy for the development of the construction materials industry for the period up to 2020 and the further perspective up to 2030 in terms of the development of territories and the construction materials industry of the region, is shown. In particular, at the complex development of the Barzas group of Kuzbass deposits, the production of construction and fine ceramics, refractory materials, finishing stone, crushed stone, sand and gravel mixtures can be established.

Keywords: Barzas group of deposits, basic refractory clays, high-base, high-alumina, pigments, bauxites, diabases, gabbro.

For citation: Storozhenko G.I., Goneev V.V., Beskrovny N.Ya., Kuznetcova A.S. Prospects for the development of the Kuzbass construction materials industry on the basis of the Barzas group of fields. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 9, pp. 4–7. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-4-7>

В 2016 г. было принято распоряжение Правительства РФ № 868-р, утвердившее Стратегию развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года, в котором были намечены пути инновационного развития отрасли [1]. Подведение промежуточных итогов реализации Стратегии показало, что программа не полностью выполняется, особенно в части развития территорий [2].

Предприятия промышленности строительных материалов неравномерно размещены по стране, производство основных строительных материалов сосредоточено в европейской части России до Урала включительно, где выпускается до 90% товарной продукции отрасли [3]. В Сибирь и на Дальний

Восток завозится практически до 100% потребляемых объемов керамической плитки, листового стекла, линолеума, до 70% санитарных керамических изделий, частично мягкие кровельные материалы.

Инновационное развитие промышленности строительных материалов за Уралом сдерживается практически полным отсутствием на этой территории отечественной базы машиностроения, ориентированной на стройиндустрию. На долю импортного оборудования, установленного на предприятиях промышленности строительных материалов, приходится в среднем 80% [4].

Следствием является технологическое отставание отрасли в Западной Сибири от аналогичной в европейской части страны, техническая зависимость от евро-

пейских компаний, построивших заводы на этой территории, и отсутствие перспектив развития, особенно заводов стеновой и строительной керамики, огнеупоров.

Экспорт в Сибирь строительных материалов ведет к тому, что заполненный рынок не позволяет развиваться местным производствам и поэтому не осваиваются местные месторождения сырья, требующие инвестиционных затрат. Организация производства продукции для строительной отрасли из местного сырья позволила бы создать рабочие места для их выпуска не только непосредственно на производственных предприятиях, но и при освоении месторождений полезных ископаемых. А запасов таких месторождений на территории Западной Сибири достаточно, чтобы на их основе развернуть новые технологии.

Расширение производства строительных материалов в Западной Сибири – один из путей реализации Стратегии в части развития территорий и импортозамещения. Примером имеющихся запасов сырья является Барзасская группа месторождений нерудного и рудного сырья.

Барзасская группа комплексных месторождений, расположенная на территории Кемеровского и Ижморского районов Кемеровской области, в северо-западной части Кузнецкого Алатау, представляет собой четыре пространственно-разобренных участка – месторождения (с юга на север): Еденисское, Суховское, Глухаринское и Гавриловское с однотипным набором полезных ископаемых: огнеупорные, полукислые, керамические глины; природные пигменты и кирпичные суглинки. Также на месторождении имеются облицовочный камень – крупнокристаллический диабаз; мраморизованный известняк; марьинский порфир. Базальты и андезитовые порфиры являются прекрасным сырьем для каменного литья, диабазы – для строительного камня и производства железнодорожного балласта. На месторождении также находятся запасы бокситов, золота, ильменита (титансодержащий минерал) и габбро. Это довольно прочные горные породы, некоторые разновидности имеют декоративную порфировую структуру и пригодны для изготовления облицовочной плитки. Дробленый щебень из габбро пригоден для отсыпки дорожных покрытий.

Месторождение является комплексным [5], но основной интерес для строительной отрасли, конечно, представляют глины. Структура залегания полез-



Рис. 1. Слоистая структура залегания глин Барзасского месторождения
Fig. 1. Layered structure of Barzassky deposit clays

ных ископаемых напоминает слоеный пирог. На всей площади просматривается примерно одинаковое чередование слоев. Верхний слой представляют суглинки, пригодные для производства строительного кирпича марок по прочности 125–150 (рис. 1).

Под суглинками на водоразделах лежат гравийно-песчаные отложения, так называемая кийская свита. Песчано-гравийные отложения местами являются золотоносными. Имеет смысл участки с содержанием золота перемывать для его выделения, а в отходах выделения золота будут получать гравийно-песчаные материалы, направляемые на отсыпку дорог и в строительную индустрию. В отстойниках промывки золота будет оседать отмученная глина, пригодная для керамической промышленности.

Под суглинками располагаются огнеупорные и полукислые глины. Полукислые глины являются прекрасным сырьем для керамического производства. Огнеупорные глины состоят из глин различных марок бокситоносных и жирных. Белые огнеупорные глины также являются сырьем для огнеупорной промышленности. Под белыми глинами лежат горизонты с бокситами (рис. 2, 3).

Керамические и огнеупорные глины являются одним из основных составляющих компонентов комплексных Барзасских месторождений. Среди глин выделяются высокоглиноземистые, высокоосновные, основные, полукислые, керамические и беложгущиеся. Основные свойства глин приведены в табл. 1. Глины характеризуются в основном белой и светло-серой окраской, нередко имеющей желтоватый и розоватый оттенки.

Таблица 1
Table 1

Характеристики глин Барзасской группы месторождений
Characteristics of clays of the Barzas group of deposits

Группа сырья	Содержание на прокаленное вещество, %			Огнеупорность, °С
	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	Fe ₂ O ₃	
Высокоглиноземистая	45,2–62,1	46,2–64	1,2–4,4	1750–1940
Высокоосновная	Не определялось	40,1–48,9	1,8–4,4	1710–1780
Основная О-1	Не определялось	34–44,5	2–3	1690–1720
Основная О-2	Не определялось	30–41	1,4–4,5	1690–1720
Полукислая ПК-1	19–27	25,4–29,7	1,1–3	1650–1680



Рис. 2. Керны образцов глин Барзасского месторождения
Fig. 2. Cores of clay samples from the Barzassky deposit

Глины огнеупорные основные, высокоосновные и высокоглиноземистые являются наряду с бокситами наиболее ценным полезным ископаемым Барзасских месторождений. Они приурочены к верхнему (сероцветному) горизонту кийской свиты, составляют до 50% от общего объема свиты и состоят в основном из каолинита и гидраргиллита. В небольших количествах присутствуют кварц, ильменит, лейкоксен, анатаз, рутил, циркон, галлуазит и фосфат. Высокоглиноземистые глины пригодны для производства высокоглиноземистых изделий класса 45–60, высокоосновные – в части производства шамотных изделий класса «А», основные – для производства шамотных изделий класса «Б». Высокоглиноземистые глины и бокситы пригодны для получения высокоглиноземистых огнеупорных цементов.

Беложгущиеся пластичные разности глин могут использоваться в качестве сырья для фарфорофаянсовой промышленности.

Полукислые глины состоят из каолинита со значительной примесью кварца и слюдоподобного минерала, в незначительном количестве встречаются гидрослюда, единичные зерна анатаза, рутила, ильменита, лейкоксена, берилла, галлуазита. По гранулометрическому составу полукислые глины содержат больше песчаных частиц, нежели глины надбокситового горизонта, и пригодны не только для изготовления полукислых огнеупорных изделий, но и строительной керамики, метлахской плитки, канализационных труб и т. д. Имея незначительное количество примесей, полукислые глины при обжиге дают керамический камень преимущественно белого цвета.

Керамические глины расположены в надбокситовом горизонте и разведаны только на Глухаринском



Рис. 3. Зачистка белых глин над бокситовым слоем
Fig. 3. Cleaning of white clays over a bauxite layer

и Гавриловском месторождениях. К керамическим глинам отнесены некондиционные разности по требованиям к огнеупорному сырью. Это светлые разности окраски и окрашенные глины с повышенным содержанием железа, пластичные и жирные.

Красные глины в составе горизонта имеют преобладающее развитие. Это очень тонкие глины преимущественно темно-красного цвета с маломощными прослойками гематита, бокситов и алюможелезистых образований. Красные глины, залегающие в подошве залежей бокситов, характеризуются значительной выдержанностью и достаточно четко прослеживаются по простиранию.

Пестроцветные глины лежат непосредственно на глинистых образованиях коры выветривания. Четких границ с ниже- и вышележащими породами слой не имеет. Пестроцветные глины ограниченно развиты и залегают, как и коры выветривания, в углублениях докийского рельефа.

Суглинки большим покровом распространены по всей площади Барзасской группы месторождений и имеют мощность от 0,2–29 м, в среднем 7 м.

Карбонатные соединения в породе присутствуют в тонкодисперсном состоянии, в количествах, допустимых для керамического сырья. Грубые включения отсутствуют. Лабораторными исследованиями установлено, что четвертичные суглинки и глины Барзасской группы месторождений могут служить сырьем для получения рядового строительного кирпича марок 125–150, черепицы, керамзита.

Запасы полезных ископаемых, разведанные еще в 1952–1960 гг. (в том числе утвержденные протоколами ГКЗ и ТКЗ), приведены в табл. 2.

Многочисленными исследованиями, проведенными в Ленинградском и Восточном институтах ог-

Таблица 2
Table 2

Запасы нерудного сырья
Барзасской группы месторождений
Reserves of nonmetallic raw materials
of the Barzas group of deposits

Огнеупорные глины	V+C ₁	млн т	36,52	Пр. ГКЗ № 3489 от 24.10.61. Отчет ГРР с подсчетом запасов на 01.01.61
Полуокислые глины	C ₁	млн т	65,27	
Керамические глины	C ₁	млн т	32,24	
Природные пигменты	C ₁	млн т	71,41	
Кирпичные суглинки	P ₁	млн т	100	

неупоров, в Сибирском отделении Академии наук и в огнеупорном цехе КМК, установлена пригодность всех сортов надбокситового горизонта для промышленного использования. Принимая во внимание инфраструктурную развитость района (наличие автомобильной и железной дорог), близость к городам Анжеро-Судженск и Кемерово, а также сырьевой потенциал района, представляется возможной реализация комплексного проекта по выпуску продукции на основе имеющегося сырья.

Наличие на территории России и ряда зарубежных государств, близких по типу месторождений

(особенно сланцевых), позволит в условиях отработанных на практике технологий переработки повысить полноту использования минерально-сырьевой базы страны и создать систему наукоемких экспортно-востребованных технологий нового технического уровня. Понятно, что наименее затратно выполнить эту работу можно только в инфраструктурно развитом регионе, к таким как Кемеровская область [6, 7].

Следует отметить, что освоение рассмотренных месторождений имеет не только коммерческое, но и общегосударственное значение. Наличие на ограниченной площади компактно расположенных месторождений разнообразных по характеру полезных ископаемых, выемка которых возможна единым открытым способом, является предпосылкой к разработке технологических и организационных решений по комплексному освоению недр [6]. Именно недр, а не месторождений, что существенно отличает решаемую задачу от ее традиционного восприятия как задачи обработки месторождений с комплексом полезных компонентов.

Другими словами, Барзасская группа месторождений – кладовая минеральных ресурсов с уникальными качественными характеристиками [8]. Разработка Барзасского месторождения могла бы стать важным этапом в формировании экономического роста строительной и металлургической отраслей как Кузбасса, так и всего Сибирского региона.

Список литературы

1. Разрабатываем Стратегию развития строительной отрасли до 2030 года. Российский союз строителей. Общероссийское межотраслевое объединение работодателей: сайт. Москва. URL: <https://omorrss.ru/> Текст: электронный.
2. Российский союз строителей. Общероссийское межотраслевое объединение работодателей: URL: <https://omorrss.ru/>. Текст: электронный.
3. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. Москва. URL: <https://gks.ru/>. Текст: электронный.
4. Министерство строительства и ЖКХ России: официальный сайт. Москва. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/>. Текст: электронный.
5. Шаклеин С.В., Писаренко М.В. Концепция развития сырьевой базы Кузнецкого угольного бассейна // *ФТПРПИ*. 2014. № 3. С. 118–125.
6. Писаренко М.В., Патраков Ю.Ф. Комплексное освоение Барзасского геолого-экономического района // *Горная промышленность*. 2017. № 2 (132). С. 31–35.
7. Кладовая Кузбасса на службе региона // *Континент Сибирь Online*: веб-сайт. URL: <https://ksonline.ru/pomer/ks/-/id/2930/>. Текст: электронный
8. Патраков Ю.Ф., Шаклеин С.В., Писаренко М.В. Перспективы освоения Барзасского геолого-экономического района // *Горная промышленность*. 2014. № 5 (117). С. 24–27.

References

1. We are developing a strategy for the development of the construction industry until 2030 Russian Union of Builders. All-Russian intersectoral association of employers: website. Moscow. URL: <https://omorrss.ru/> (2020). Text: electronic. (In Russian).
2. Russian Union of Builders. All-Russian intersectoral association of employers: URL: <https://omorrss.ru/>. Text: electronic. (In Russian).
3. Federal State Statistics Service: official website. Moscow. URL: <https://gks.ru/> (date of access: 2016). Text: electronic. (In Russian).
4. Ministry of Construction and Housing and Utilities of Russia: official site. Moscow. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/>. Text: electronic. (In Russian).
5. Shaklein S.V., Pisarenko M.V. The concept of development of the raw material base of the Kuznetsk coal basin. *FTPRPI*. 2014. No. 3, pp. 118–125. (In Russian).
6. Pisarenko M.V., Patrakov Yu.F. Complex development of the Barzassky geological and economic region. *Gornaya promyshlennost'*. 2017. No. 2 (132), pp. 31–35. (In Russian).
7. Pantry Kuzbass in the service of the region. *Kontinent Sibir' Online*: website. URL: <https://ksonline.ru/pomer/ks/-/id/2930/>. Text: electronic (In Russian).
8. Patrakov Yu.F., Shaklein S.V., Pisarenko M.V. Prospects for the development of the Barzas geological and economic region. *Gornaya promyshlennost'*. 2014. No. 5 (117), pp. 24–27. (In Russian).

В.Д. КОТЛЯР¹, д-р техн. наук (diatomit_kvд@mail.ru), Ю.В. ТЕРЁХИНА¹, инженер (yuliya-2209@mail.ru);
С.М. АЛМАЗОВ², коммерческий директор (orel.ceramic@mail.ru);
А.В. КОТЛЯР¹, канд. техн. наук (toss871@gmail.com), Р.А. ЯЩЕНКО¹, инженер (roma.8929@mail.ru)

¹ Донской государственный технический университет (344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

² ООО «Орловская керамика» (303370, Орловская обл., г. Малоархангельск)

Глины Малоархангельского месторождения — перспективное сырье для керамических материалов

Представлены результаты исследования светло- и темножгущихся тугоплавких глин Малоархангельского месторождения Орловской области для производства керамических материалов. Изучены химический, минеральный и гранулометрический составы, определены дообжиговые и обжиговые свойства сырья, приведено изменение цвета керамического камня в зависимости от температуры обжига в окислительной среде для двух сортов глин. Рассмотрены логистические преимущества месторождения компании «Орловская керамика» для кирпичных заводов европейской части России. Проведенные исследования показали, что глины Малоархангельского месторождения являются перспективными в качестве основного сырья и добавочного компонента для производства лицевого керамического кирпича разнообразных оттенков, стенового и дорожного клинкера, кирпича «ручной формовки», рядового полнотелого кирпича, керамических блоков. Показатели качества сырья позволяют использовать его как основной компонент шихты, а также в качестве добавки для улучшения сушильных и обжиговых свойств изделий.

Ключевые слова: глина, сырье, цвет, прочность, водопоглощение, структура, спекание, Малоархангельское месторождение, кирпич керамический, облицовочный кирпич, дорожный клинкер.

Для цитирования: Котляр В.Д., Терёхина Ю.В., Алмазов С.М., Котляр А.В., Ященко Р.А. Глины Малоархангельского месторождения – перспективное сырье для керамических материалов // *Строительные материалы*. 2021. № 9. С. 8–13.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-8-13>

V.D. KOTLYAR¹, Doctor of Science (Engineering) (diatomit_kvд@mail.ru), Yu.V. TEREKHINA¹, Engineer (yuliya-2209@mail.ru);
S.M. ALMAZOV², Commercial Director (orel.ceramic@mail.ru); A.V. KOTLYAR¹, Candidate of Sciences (Engineering), (toss871@gmail.com);
R.A. YASHENKO¹, Engineer, (roma.8929@mail.ru)

¹ Don State Technical University, (1, Gagarina Square, Rostov-on-Don 344003, Russian Federation)

² ООО «Orlovskaya keramika» (Maloarkhangelsk, Oryol Region, 303370, Russian Federation)

Clays of the Maloarkhangelskoye Deposit are Promising Raw Materials for Ceramic Materials

The results of the study of light- and dark-burning refractory clays of the Maloarkhangelsk deposit in the Oryol region for the production of ceramic materials are presented. The chemical, mineral and granulometric compositions have been studied, the pre-firing and firing properties of the raw materials have been determined, the change in the color of the shard is given depending on the firing temperature in an oxidizing environment for two types of clays. The logistical advantages of the «Orlovskaya Keramika» deposit for brick factories in the European part of Russia are considered. Studies have shown that the clays of the Maloarkhangelsky deposit are very promising as the main raw material and an additional component for the production of facing ceramic bricks of various shades, wall and road clinker, hand-molded bricks, ordinary solid bricks, and ceramic blocks. The quality indicators of raw materials make it possible to use it as the main component of the charge, as well as an additive to improve the drying and roasting properties of products.

Keywords: clay, raw materials, color, strength, water absorption, structure, sintering, Maloarkhangelskoye deposit, ceramic brick, facing brick, road clinker.

For citation: Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Almazov S.M., Kotlyar A.V., Yashenko R.A. Clays of the Maloarkhangelskoye deposit are promising raw materials for ceramic materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 9, pp. 8–13. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-8-13>

В последние десятилетия в России активно развивается производство лицевого керамического кирпича, в основном за счет расширения номенклатуры выпускаемой продукции. Увеличивается разнообразие цветовой гаммы, видов лицевой поверхности, физико-механических показателей. По ассортименту и качеству лицевого кирпича ведущие российские предприятия не уступают европейским заводам, а доступная цена за счет отсутствия таможенных пошлин делает лицевой кирпич привлекательным для потребителя. Однако среди штучных стеновых материалов керамические стеновые материалы имеют наиболее высокую цену, а лицевой кирпич существенно дороже рядового и блоков — от 12 до 60 р. за штуку.

Одной из причин повышенной стоимости лицевого кирпича, отличного от традиционной красно-

коричневой окраски, является ограниченная сырьевая база светло- и темножгущегося глинистого сырья низкотемпературного спекания. На территории России в отличие от стран Западной Европы, Украины, Белоруссии имеется малое количество таких месторождений, пригодных и доступных для керамической отрасли [1–6]. Ситуация по сырьевой базе отечественных производителей керамических материалов обычно складывается таким образом: большинство кирпичных заводов имеют базовое месторождение глин или суглинков и используют несколько видов привозного сырья для корректировки сушильных и обжиговых свойств, а также для расширения цветовой гаммы изделий. Логистические решения позволяют доставлять на предприятие разными видами транспорта подходящее сырье за сотни и

тысячи километров для получения качественной и разнообразной продукции – лицевого и стенового клинкерного кирпича, дорожного клинкерного кирпича, кирпича мягкой («ручной») формовки, кирпича с «состаренной» поверхностью.

Цена глинистого сырья формируется из его карьерной (добычной) себестоимости и затрат на транспортировку, что отражается на себестоимости кирпича. Поэтому поиск глинистого сырья низкотемпературного спекания, дающего после обжига керамический камень разнообразной окраски – преимущественно светлых или темных оттенков, является весьма актуальной задачей для выпуска качественной продукции широкого ассортимента.

В Донском государственном техническом университете совместно с геологическими организациями и ООО «Научно-исследовательский институт керамики» (г. Гжель) в последние годы активно ведутся работы по поиску и вовлечению в производство различных видов минерального сырья для получения разнообразных изделий строительной керамики [7–11]. Одним из перспективных месторождений глинистого сырья, изучаемых нами с целью получения различных видов керамических материалов, является Малоархангельское месторождение.

Месторождение находится в Орловской области, в 4,5 км к югу от г. Малоархангельска. Благоприятные



Рис. 1. Общий вид (а) и вскрытый разрез (б) Малоархангельского месторождения

Fig. 1. General view (a) and open section (b) of Malaarkhangel'sky Place of Birth

горнотехнические условия, наличие асфальтированной площадки и железнодорожного тупика позволяют производить отгрузку глины практически круглый год на дальние расстояния автомобильным и железнодорожным транспортом. Например, расстояние до Москвы составляет 400 км, до Ростова-на-Дону – 820 км, до Санкт-Петербурга и Краснодара – по 1100 км, до Новосибирска – 3500 км. Указанные расстояния до крупных промышленных центров делают данное месторождение особо ценным для европейской части России.

Малоархангельское месторождение было выявлено в 1971–1973 гг. при поисковых работах, проводившихся Орловской геологоразведочной экспедицией. В 1974–1976 гг. была проведена предварительная разведка, а в 1978–1986 гг. – детальная разведка как сырья для производства лицевого керамического кирпича. В результате данных работ было установлено, что в геологическом строении месторождения

Т обжига, °С	Сорт глины	
	ГМА-1	ГМА-2
900		
950		
1000		
1050		
1100		

Рис. 2. Цветовые характеристики сортов глин при температуре обжига для лицевого и стенового клинкерного кирпича

Fig. 2. Color characteristics of clay varieties at temperatures firing for facing and wall clinker bricks

Т обжига, °С	Сорт глины	
	ГМА-1	ГМА-2
1150		

Рис. 3. Цветовые характеристики сортов глин при температуре обжига 1150°C для дорожного клинкерного кирпича

Fig. 3. Color characteristics of clay grades at firing temperature 1150°C for road clinker bricks

принимает участие нижнемеловые и четвертичные образования. Основным полезным ископаемым являются некомаптные тугоплавкие глины гидрослюдисто-каолининового состава со средней мощностью 6–10 м, которые были разделены на две разновидности, различающиеся по содержанию оксидов железа. Вверху – светло-серые глины с содержанием Fe_2O_3 1–4,8%, внизу – темно-серые глины с содержанием Fe_2O_3 5–12%. Как было установлено, усредненный химический состав глин изменялся в следующих пределах, %: SiO_2 – 60,22–71,52; $Al_2O_3+TiO_2$ – 16,56–23,85; Fe_2O_3 – 3,27–7,74; CaO – 0,43–1,21; MgO – 0,35–1,91; SO_3 – 0,02–0,2; Na_2O – 0,13–0,3; K_2O – 0,62–1,72; ППП – 6,05–10,35.

По содержанию тонкодисперсных фракций тугоплавкие глины были отнесены к группе низкодисперсного и среднелдисперсного сырья, по степени пластичности к группе умеренно пластичного сырья. По физико-механическим керамическим свойствам, которые весьма благоприятны для производства керамического кирпича, обе разновидности глин, как было установлено, похожи между собой [6, 12, 13].

Тугоплавкие глины мелового периода перекрываются четвертичными суглинками средней мощностью до 8,3 м, которые также являются полезным ископаемым (рис. 1).

Изучение глин Малоархангельского месторождения в 1970–1980-х гг. прошлого столетия проводилось по существующим тогда методикам, а полученные образцы и изделия оценивались по требованиям к лицевому кирпичу ГОСТ 7484–78 «Кирпич и камни керамические лицевые. Технические условия». В последние годы требования к лицевому кирпичу в плане физико-механических свойств и внешнего вида существенно изменились, как и изменился подход потребителей к качеству лицевой поверхности и ее оттенкам при выборе кирпича.

В настоящее время разработкой Малоархангельского месторождения занимается компания «Орловская керамика», перед которой стоит задача переоценки глинистого сырья Малоархангельского месторождения с конкретным выделением разновидностей глинистого сырья по цветовым и физико-механическим характеристикам получаемых изделий, а также оценки возможности получения клинкерного кирпича – как стенового, так и дорожного по ГОСТ 32311–2012.

В результате оценки, проводимой ДГТУ, месторождения по цветовым характеристикам керамического камня было выделено два основных сорта глины – светложгущаяся и темножгущаяся, получивших шифры ГМА-1 и ГМА-2. Сорт ГМА-1 дает после обжига различные оттенки коричневого цвета, сорт ГМА-2 дает после обжига керамический камень светлых тонов: светло-серый, розовый, бежевый и др.

На цвет обожженного материала влияет, помимо вещественного состава глины, температура обжига. На рис. 2 показаны цвета обожженных образцов в зависимости от выделенного сорта глины при темпера-

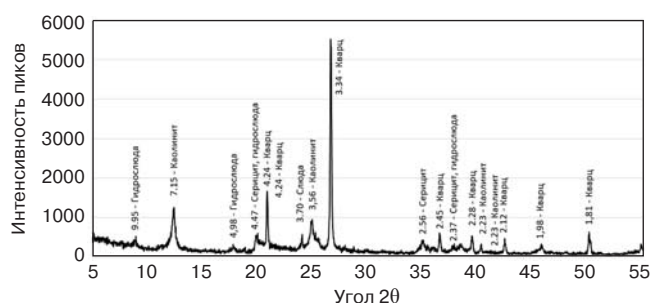


Рис. 4. Рентгенограмма валового образца

Fig. 4. X-ray of the bulk sample

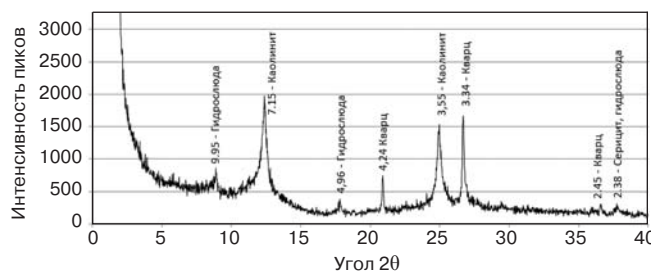


Рис. 5. Рентгенограмма ориентированного образца

Fig. 5. X-ray of an oriented specimen

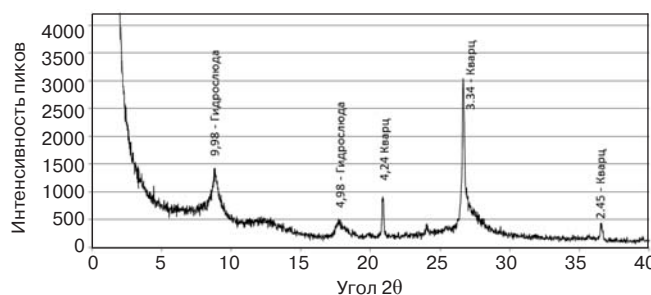


Рис. 6. Рентгенограмма обожженного образца

Fig. 6. X-ray of the fired specimen

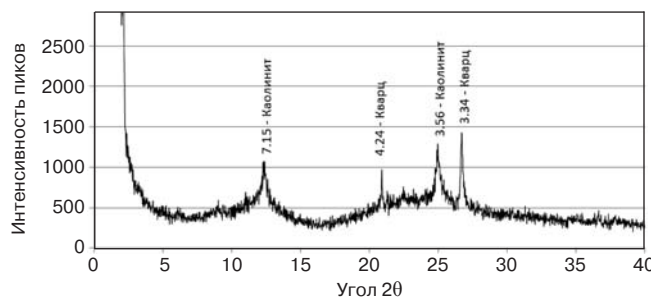


Рис. 7. Рентгенограмма образца, насыщенного этиленгликолем

Fig. 7. X-ray diffraction pattern of a sample saturated with ethylene glycol

туре обжига, применяемой для лицевого и стенового клинкерного кирпича. На рис. 3 показаны цвета обожженных образцов в зависимости от выделенного сорта глины при температуре обжига 1150°C, необходимой для получения дорожного клинкерного кирпича. Обжиг проводился в окислительной среде.

Исследования химико-минералогического состава и физико-механических керамических свойств по отдельным позициям подтвердили результаты предыдущих исследований с уточнениями. Так, если гово-

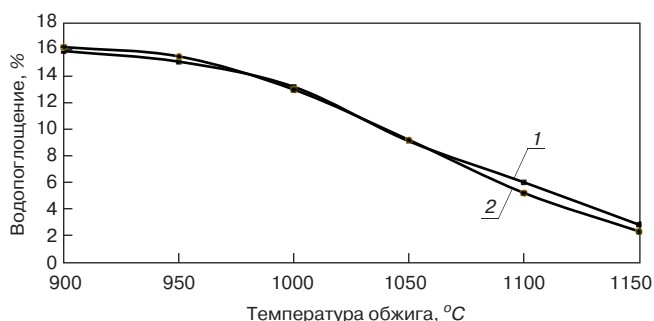


Рис. 8. Зависимость водопоглощения от температуры обжига: 1 – ГМА-1; 2 – ГМА-2

Fig. 8. Dependence of water absorption on the firing temperature: 1 – GMA-1; 2 – GMA-2

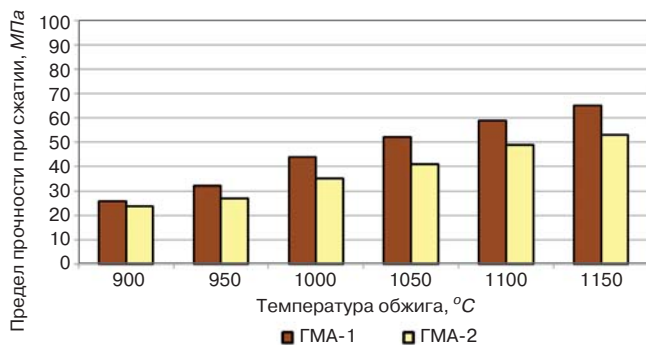


Рис. 9. Зависимость предела прочности при сжатии от температуры обжига

Fig. 9. Compressive strength dependence on the firing temperature

речь о химическом составе, к сорту ГМА-2 можно отнести глины с содержанием Fe_2O_3 до 2–3%, к сорту ГМА-1 – свыше 4–5,5%. Интересно, что какой-либо закономерности между содержанием оксида железа и оксида алюминия по результатам наших и других исследований не наблюдается. Содержание последнего в изученных разновидностях глин от 16,6 до 22,9%.

Содержание SiO_2 изменяется от 55,4 до 68,6%. Встречаются запесоченные прослои глин с содержанием кремнезема до 73,5%. При этом наблюдается

четкая закономерность: чем больше содержание оксида алюминия, тем меньше содержание кремнезема. Это логично исходя из принципов взаимосвязи химического и минерального состава. Содержание оксидов калия и натрия, являющихся основными плавнями, колеблется в среднем от 1 до 2,5% с явным преобладанием оксида калия, что является весьма положительным моментом для процесса спекания. Количество серного ангидрита не превышает 0,2%, что также является положительным моментом. Также можно отметить отсутствие органики и незначительное содержание водорастворимых солей.

Исследования минерального состава подтвердили каолинит-гидрослюдистый состав глинистой составляющей с примерно равным плавающим содержанием каолинита и гидрослюда. На рис. 4–7 для примера показаны рентгенограммы валового образца, ориентированного, обожженного и насыщенного этиленгликолем пробы ГМА-1.

Определение содержания тонкодисперсных фракций проводилось традиционным седиментационным методом «пипетки» и методом лазерной дифракции, который широко используется в современных лабораториях. По традиционному методу все исследованные нами пробы отнесены к среднедисперсному сырью. Метод же лазерной дифракции дает пониженное содержание фракций меньше 1–5 мкм. Эти расхождения требуют отдельных исследований.

Общее содержание крупнозернистых включений в изученных пробах Малоархангельского месторождения невелико и не превышает 1%. Основными включениями являются зерна кварца и реже железомарганцевые стяжения.

Глины Малоархангельского месторождения отличаются небольшой воздушной усадкой – 5–7%, средней или малой чувствительностью к сушке, хорошими формовочными свойствами, по пластично-



Рис. 10. Добыча глины на Малоархангельском месторождении

Fig. 10. Extraction of clay at the Maloarkhangelskoye deposit

сти относятся к умеренно пластичному сырью, по связующей способности к группе с умеренной механической прочностью.

По степени спекания исследованные образцы глин Малоархангельского месторождения похожи между собой. Огневая усадка при температуре 1000°C составляет 1,9–2,7%, при температуре обжига 1100°C составляет 4,6–6,4%. Глины являются спекающимися. Водопоглощение меньше 5% без признаков пережога достигается в интервале температуры 1100–1130°C. На рис. 8 показана зависимость водопоглощения от температуры обжига для выделенных типов глин.

Обожженные образцы на основе глин Малоархангельского месторождения обладают достаточно высокой прочностью. На рис. 9 показана зависимость предела прочности при сжатии от температуры обжига для выделенных типов глин. Также достаточно высокие показатели у обожженных образцов и по пределу прочности при изгибе.

Проведенные исследования показали, что глины Малоархангельского месторождения являются весьма перспективными в качестве основного сырья и добавочного компонента для производства лицевого керамического кирпича разнообразных оттенков, кирпича «ручной формовки», рядового полнотелого кирпича, керамических блоков. Показатели качества

сырья позволяют использовать его как основной компонент шихты, а также в качестве добавки для улучшения сушильных и обжиговых свойств изделий.

Комбинирование выделенных сортов глин, которое лучше проводить непосредственно на кирпичных заводах под непосредственным контролем технологов, позволит получить широкую цветовую гамму изделий высокого качества. Разработка месторождения, осуществляемая в настоящее время компанией «Орловская керамика», ведется селективным способом. С применением специализированной техники происходит разделение глины по сортам. Отобранная глина складывается в конусы, отгрузка глины осуществляется непосредственно с месторождения (рис. 10). В процессе хранения и транспортировки глина проходит 3–4 этапа перевалки: погрузка при добыче, формирование конуса, загрузка в автотранспорт, выгрузка на территории заказчика. При этом происходит ее усреднение по качественным показателям.

Выборочные экспериментальные исследования показали, что на основе глин Малоархангельского месторождения возможно получение серого, черно-серого, темно-коричневого, светло-серого, зелено-вато-серого и других цветов и оттенков лицевого и клинкерного кирпича.

Список литературы

1. Августиник А.И. Керамика. Л.: Стройиздат, 1975. 592 с.
2. Лопатников М.И. Минерально-сырьевая база керамической промышленности России // *Строительные материалы*. 2004. № 2. С. 36–38.
3. Талпа Б.В., Котляр А.В. Минерально-сырьевая база литифицированных глинистых пород Юга России для производства строительной керамики // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 31–33.
4. Гончаров Ю.И. Сырьевые материалы силикатной промышленности. М.: АСВ, 2009. 124 с.
5. Фоменко А.И., Каптюшина А.Г., Грызлов В.С. Расширение сырьевой базы для строительной керамики // *Строительные материалы*. 2015. № 12. С. 25–27.
6. Крайнов А.В., Дмитриев Д.А. Минерально-сырьевая база тугоплавких и огнеупорных глин Центрально-Черноземного района и перспективы ее развития // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Геология*. 2017. № 4. С. 79–85.
7. Терехина Ю.В., Талпа Б.В., Котляр А.В. Минерально-технологические особенности литифицированных глинистых пород и перспективы их использования для производства строительной керамики // *Строительные материалы*. 2017. № 4. С. 8–10. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-747-4-8-10>
8. Котляр А.В., Небежко Ю.И., Божко Ю.А., Ященко Р.А., Небежко Н.И., Котляр В.Д. Клин-

References

1. Avgustinnik A.I. *Keramika* [Ceramics]. Leningrad: Stroyizdat. 1975. 592 p.
2. Lopatnikov M.I. Mineral raw materials base of the ceramic industry of Russia. *Stroitel'nye Materialy*. [Construction Materials]. 2004. No. 2, pp. 36–38. (In Russian)
3. Talpa B.V., Kotlyar A.V. Mineral raw material base of lithium clay rocks of the South of Russia for the production of construction ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 2, pp. 31–33. (In Russian).
4. Goncharov Yu.I. *Syr'evye materialy silikatnoi promyshlennosti* [Silicate raw materials]. Moscow: ASV. 2009. 124 p.
5. Fomenko A.I., Kaptyushina A.G., Gryzlov V.S. Expansion of raw material base for construction ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 12, pp. 25–27. (In Russian).
6. Krainov A.V., Dmitriev D.A. Mineral and raw material base of refractory and refractory clays of the central chernozem region and its development prospects. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*. 2017. No. 4, pp. 79–85. (In Russian).
7. Terekhina Yu.V., Talpa B.V., Kotlyar A.V. Mineral and technological features of lithium clay rocks and prospects of their use for production of construction ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 4, pp. 8–10. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-747-4-8-10>

- керный кирпич на основе отсеков дробления песчаников Ростовской области // *Строительные материалы*. 2020. № 8. С. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-9-15>
9. Котляр В.Д., Лапунова К.А. Технологические особенности опок как сырья для стеновой керамики // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2009. № 11–12 (611–612). С. 25–31.
 10. Явруян Х.С., Котляр В.Д., Гайшун Е.С. Комплексная переработка угольных отвалов восточного Донбасса для получения строительной керамики // *Научно-исследовательские технологии разработки и использования минеральных ресурсов*. 2019. № 5. С. 489–494.
 11. Бондарюк А.Г., Котляр В.Д. Стеновая керамика на основе опоковидных кремнисто-карбонатных пород и искусственных кремнисто-карбонатных композиций // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2010. № 7 (619). С. 18–24.
 12. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. Глины тугоплавкие. М., 2016.
 13. Савко А.Д., Холмовой Г.В., Ширшов С.А. Нерудные полезные ископаемые Черноземья // *Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского государственного университета*. 2005. Вып. 32. 314 с.
 8. Kotlyar A.V., Nebezhko Yu.I., Bozhko Yu.A., Yashchenko R.A., Nebezhko N.I., Kotlyar V.D. Clinker brick based on sandstone crushing screenings of the Rostov region. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 8, pp. 9–15. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-783-8-9-15>
 9. Kotlyar V.D., Lapunova K.A. Technological features of ops as raw materials for wall ceramics. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2009. No. 11–12 (611–612), pp. 25–31. (In Russian).
 10. Yavruyan Kh.S., Kotlyar V.D., Gaishun E.S. Complex processing of coal dumps of east Donbass for production of construction ceramics. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov*. 2019. No. 5, pp. 489–494. (In Russian).
 11. Bondaryuk A.G., Kotlyar V.D. Wall ceramics based on opaque silicon-carbonate rocks and artificial silicon-carbonate compositions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2010. No. 7 (619), pp. 18–24. (In Russian).
 12. State balance of mineral reserves of the Russian Federation. Refractory clays. Moscow. 2016. (In Russian).
 13. Savko A.D., Kholmovoi G.V., Shirshov S.A. Non-metallic minerals of the Black Earth Region. *Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta geologii Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2005. Iss. 32. 314 p. (In Russian).



ОРЛОВСКАЯ
КЕРАМИКА

Орловская керамика

предлагает
высококачественное
перспективное сырье
Малоархангельского
месторождения глин
для производства
керамических материалов

Орловская обл., г. Малоархангельск
Тел.: +7(960) 614-20-55; +7(906)628-95-48
E-mail: orel.ceramic@mail.ru





Главный форум российских керамиков

The main forum of Russian ceramists

Завершая обзор прошлогодней конференции KERAMTEX, мы были твердо уверены, что преодолели и оставляем позади тяготы ограничений, связанных с пандемией коронавирусной инфекции COVID-19 и теперь в 2021 году все вернется на круги своя и пойдет своим чередом. Мы ошиблись. Коварная болезнь атакует новыми штаммами, ограничения при проведении массовых мероприятий сохраняются. Но, как говорилось в знаменитом советском киножурнале, «мы не привыкли отступать!»

23–24 июня 2021 г. в Твери состоялась очередная XIX Международная научно-практическая конференция «Развитие керамической промышленности России: KERAMTEX-2021».

Concluding the review of last year's KERAMTEX conference, we were firmly confident that we had overcome and were leaving behind the hardships of the limitations associated with the COVID-19 coronavirus pandemic, and now in 2021 everything will return to normal and go on as usual. We were wrong. Insidious disease attacks with new strains, restrictions on holding mass events remain. But, as it was said in the famous Soviet newsreel, «we are not used to retreat!»

On June 23–24, 2021, the regular XIX International Scientific and Practical Conference «Development of the Ceramic Industry of Russia» was held in Tver: KERAMTEX-2021».



Спонсором KERAMTEX-2021 вновь выступила итальянская компания BONGIOANNI, хорошо известная российским производителям керамического кирпича высоким качеством оборудования и оригинальными инженеринговыми решениями.

Партнерами конференции стали инженерно-строительный факультет Донского государственного технического университета (Ростов-на-Дону), НИИ керамики (г. Гжель) и ООО «Вышневолоцкая керамика» (Тверская обл.).

В работе KERAMTEX-2021 приняли участие около 130 руководителей и ведущих специалистов тридцати четырех кирпичных заводов из тридцати одного региона России, ученые, работающие в области строительной керамики, из трех федеральных университетов, а также представители ведущих машиностроительных и инженеринговых компаний из Германии, Греции, Испании, Италии и Швейцарии. Как и в прошлом году, в условиях ограничительных мер, направленных на противодействие распространению инфекции, преимущество было у тех компаний, которые имеют дочерние предприятия или постоянные представительства на территории России, так как многие иностранные специалисты вновь не смогли лично принять участие в конференции.

Коллеги заслушали и обсудили более двадцати докладов. Выездная сессия состоялась на кирпичном заводе «Вышневолоцкая керамика».

В настоящее время меняется производственная парадигма кирпичной промышленности. С одной стороны, рынок требует продукцию с максимальной добавленной стоимостью, так как в условиях острой конкуренции не только между производителями строительной керамики, но и других



видов материалов требуется постоянно расширять ассортимент продукции и повышать ее качество. С другой стороны, запасы кондиционного традиционного глинистого сырья практически повсеместно вырабатываются. Производителям приходится изыскивать новые сырьевые источники, часто низкого качества, отходы других отраслей промышленности. Все это существенно повышает требования к технологическому оборудованию, которое должно быть не только надежным и экономичным, но и обеспечивать возможность быстрой переналадки для перехода на новые виды продукции. При этом как сама продукция, так и технология должны постепенно «зеленеть», т. е. становиться все более экологичными.

Все эти вопросы нашли отражение в конференционной программе КЕРАМТЭК-2021.

Непростая история Вышневолоцкого кирпичного завода в отрасли известна. Именно поэтому коллеги с большим интересом ждали группу докладов, посвященных этому предприятию.

Строительство завода началось в 2005 г. на базе Ненорово-Филимоновского месторождения глины. Недостатком данного сырья является наличие большого количества карбонатных включений, которые образуют на поверхности кирпича дефекты, называемые дутиками. Это обстоятельство, не учтенное изначально в технологии, а также ошибки менеджмента длительное время не позволяли предприятию работать рентабельно.

В итоге проблемное, «неудобно» расположенное предприятие было продано компании S7. На момент продажи завод имел негативную репутацию, так как выпускал лишь одинарный красный кирпич низкого качества. Кроме того, постоянно возникали проблемы с оборудованием, на предприятии не было квалифицированных кадров.





Новому генеральному директору **Владимиру Николаевичу Савельеву** пришлось практически одновременно решать несколько групп задач, чтобы вывести предприятие из кризиса. В первую очередь начали формировать команду. На ключевые должности пригласили высококвалифицированных специалистов, часть сотрудников обучали практически с нуля.

Для кардинального изменения технологии, которая позволила бы выпускать кирпич высокого качества и широкого ассортимента, востребованного рынком, к сотрудничеству привлекли НИИ керамики, возглавляемый известным и опытным специалистом, канд. техн. наук **Владимиром Александровичем Езерским**. Именно он посоветовал установить на предприятии мельницы сухого помола, чтобы раз и навсегда решить проблему карбонатных включений. И в 2014 г. на заводе были установлены две центробежно-ударные мельницы производства магнитогорской компании «Урал Омега». Соответственно были установлены сушильные барабаны.

Об участии итальянской компании COSMEC в модернизации Вышневолоцкого кирпичного завода рассказал на конференции региональный представитель **О.В. Кобелев**. В 2014 г. компания установила на заводе новый резчик и автоматизированную систему садки на печные вагонетки.

Но этом этапе удалось резко поднять качество продукции не только за счет улучшения лицевой поверхности, но и увеличения прочности (M200) и морозостойкости (F200), снижения водопоглощения менее 8%. Лицевой кирпич новой торговой марки «Вышневолоцкая керамика» уверенно начал завоевывать рыночные позиции.

Следующим шагом стала модернизация печи в 2019 г. С помощью компаний COSMEC и SACMI (Италия), а также Keller (Германия) была установлена система флеш-обжига, что позволило еще больше расширить ассортимент выпускаемой продукции за счет модных темных тонов. Кроме того, была оптимизирована система разгрузки печных вагонеток и упаковки готовой продукции.

Также в 2019 г. были запущены газопоршневые установки, полностью обеспечившие генерацию электроэнергии для собственных нужд. Это позволило сократить затраты на энергоносители на 20%.

В настоящее время завод «Вышневолоцкая керамика» является одним из наиболее динамично и успешно развивающихся предприятий отрасли с годовым выпуском 60 млн шт. усл. кирпича в год. Дальнейшие планы по расширению ассортимента включают клинкерную плитку, клинкер для мощения, облицовочные элементы для системы навесных фасадов.

Подготовке сырья и выбору соответствующего оборудования был посвящен доклад представителя итальянской компании Bongioanni Macchine **Т.В. Русских**.

Свой взгляд на сухое измельчение представила испанская компания Talleres Felipe Verdes (**О.Н. Бондаренко**). Для сухого измельчения компания предлагает маятниковые мельницы, позволяющие одновременно измельчать, классифицировать и при необходимости досушивать материал в самой мельнице на одном этапе переработки.

Влажность керамического сырья, при которой происходит размол, относительно высока и составляет 6%, а досушка может производиться со значений 13–15%.

Не были обойдены вниманием и более традиционные, но не менее важные вопросы эксплуатации и ремонта оборудования.

Наш постоянный участник, практически талисман КЕРАМТЭКС, **Марко Брейтенмозер** (Freymatic AG, Швейцария), который в прошлом году по известным обстоятельствам не мог приехать в Россию, представил новую конструкцию резчика.

Директор компании ООО «Хендле-Урал» **В.Ю. Кузьмин** подготовил доклад о восстановлении рабочих поверхностей экструдеров, где наглядно показал, как от геометрии шнека зависит характер течения массы и ее сжатие в головке прессы. А эти параметры, как известно каждому кирпичнику, существенно влияют на качество сырца, что в свою очередь определяет его поведение в сушке и обжиге.

На работу оборудования влияет такая, казалось бы, мелочь, как подшипники. От их качества и долговечности зависит как физическая работа оборудования, так и ее эффективность. Новое слово в производстве подшипников – антифрикционное заполнение специальной графитовой смазкой. Такие подшипники целесообразно применять при температуре эксплуатации от -180°C до 300°C, так как смазка не густеет и не вытекает, в быстровращающихся механизмах, в запыленной и абразивной среде.

В кирпичной промышленности подшипники в АБЗ могут применяться на сушильных и обжиговых вагонетках, на роликовых опорах конвейеров. На конференции подшипники представляли две компании: ООО «Реновация» (генеральный директор **В.А. Перевёртов**) и ООО «Ленинградский подшипник» (зам. генерального директора **О.В. Дивес**).

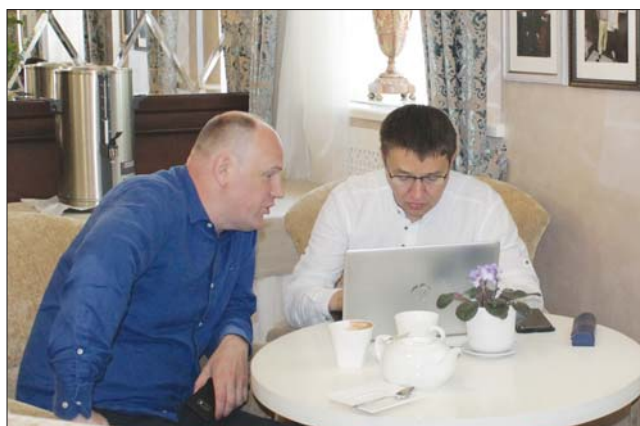
Поскольку запасы высококачественного традиционного глинистого сырья повсеместно истощаются, от эффективного взаимодействия заводских технологов и ученых зависит восполнение сырьевой базы предприятий за счет вовлечения в производство некондиционного сырья, а главное, многотоннажных отходов других отраслей промышленности. Этим вопросам были посвящены доклады ученых ростовской научной школы. Коллеги с кафедры строительных материалов Донского государственного технического университета вновь были нашими помощниками при организации конференции в Твери.

Особо выделим доклад о возможностях прикладной минералогии при прогнозировании качества керамического кирпича главного технолога Норского керамического завода (Ярославль) **И.А. Ксенофонтова**, которого технологическая работа привела в науку.

Нетрадиционным, но чрезвычайно интересным и вызвавшим бурное обсуждение было выступление главного технолога ООО «ТомскИнтерСтрой» **Н.И. Рыхновой**, которая представила концепцию комплексной застройки жилого массива «Северный парк» в Томске, состоящей из кирпичных домов различной этажности и продуманной, ориентированной на жителей социальной инфраструктурой.

Своего рода культурным событием конференции стала презентация книги «Энциклопедия старинных кирпичей и черепицы» из собрания музея «Кирпичная библиотека», которую скрупулезно собирал создатель кирпичной библиотеки доцент Южного федерального университета, канд. геол.-мин. наук **Б.В. Талпа**.

Работа кипела не только в конференционном зале, но и в фойе, и даже на берегу Волги, куда участники бегали купаться при каждом удобном случае, что неудивительно, ведь природа «побаловала» 35-градусной жарой.





Выездная сессия всегда ожидается участниками с особым интересом. Поскольку за последние два года выявили опасность полной зависимости от иностранных технологий и специалистов, завод «Вышневолоцкая керамика» как нельзя лучше продемонстрировал преимущество сбалансированной работы с российскими и зарубежными поставщиками оборудования.

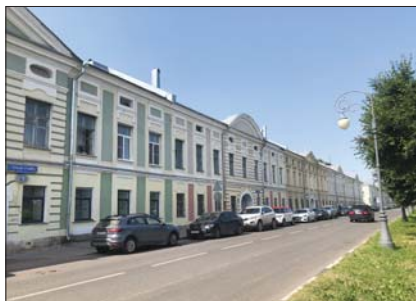
Конечно, мы не отказали себе в удовольствии прогуляться по старинному кирпичному городу, осмотрели основные достопримечательности. Многие коллеги повезли домой традиционные тверские сувениры. Ведь КЕРАМТЭКС – это не только работа, но и захватывающие путешествия по России, знакомство с ее историей, архитектурой и обычаями.



ООО «Вышневолоцкая керамика»

- Год основания – 2005
- Разрабатывает Ненорово-Филимоновское месторождение глины
- Для исключения вредного воздействия карбонатных включений в технологии применяются ударно-центробежные мельницы
- Для расширения цветовой гаммы кирпича при реконструкции печи установлены горелки флеш-обжига
- Основная продукция – облицовочный кирпич
- Марка по прочности > 200
- Марка по морозостойкости > 200
- Водопоглощение < 8%





КЕРАМТЭКС-2021 вновь подтвердил наш девиз: «Объединение профессионалов гарантирует успех!»
В 2022 г. конференция *КЕРАМТЭКС* пройдет в двадцатый раз. Безусловно, это знаковое событие для отрасли, ведь именно с конференцией, с тематическими номерами журнала «Строительные материалы»®, рука об руку с коллегами выросло и сформировалось новое поколение руководителей и специалистов, которые ведут отрасль по пути динамичного развития.

До скорой встречи, друзья! Оставайтесь вместе, оставайтесь с нами!

Изготовление, восстановление и бронирование шнеков



Наплавка материалами из Германии по технологии HÄNDLE GmbH

- ULTRA — полное бронирование лопастей и ступицы
- SUPRA — частичное бронирование

Оптимизация геометрии шнека для всех типов экструдеров.

Подбор геометрии в зависимости от сырья и номенклатуры.

Для экструдеров HÄNDLE изготовление и бронирование по оригинальным чертежам

- Снижение расхода электроэнергии
- Повышение КПД экструдера и качества формования

Изготовление скребков, лопаток



- Твердость $\pm 3000\text{HV}$
- Длина до 1500 мм



454112, Российская Федерация, г. Челябинск, Комсомольский проспект,
д. 39, корпус Б, офис 141
тел: 8 (351) 219-85-35
e-mail: haendle.ural@gmail.com



Р
е
к
л
а
м
а

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Энциклопедия старинных кирпичей и черепицы из собрания музея «Кирпичная библиотека»



Автор: Талпа Б.В.

Издательство Южного федерального университета, 2021. 432 с.

Энциклопедия состоит из девяти разделов. Представлены старинные кирпичи и черепица Российской империи (42 региона), Австро-Венгерской, Британской, Византийской, Османской, Римской империй, Древнего Египта и Греции и других европейских и азиатских стран. Имеются редкие кирпичи из Карнакского храма (Египет, IV тыс. до н. э.), Московского, Казанского, Тульского, Астраханского, Ярославского, Свияжского Кремля, а также Китай-города, Помпеев, Рима, Вены, Лондона, Сиены, Ливорно, Риги, Санкт-Петербурга, Свято-Троицкой Сергиевой лавры, Валаамского, Новодевичьего монастырей, Гефсиманского Черниговского скита, крепостей Дальнего Востока, замков рыцарей Ливонского и Тевтонского орденов, Китая, Японии, Швеции, Дании, Индии, Туниса, Таиланда и др. Каждый образец кирпича и черепицы сопровождается информацией (статьей) о месте находки, производителе, сырьевой базе, технологии и времени производства, а также об исторических сооружениях, построенных из этих материалов. Прилагаются исторические

документы, картографические материалы, биографические сведения о производителях, ссылки на исторические справочники. Энциклопедия содержит более 2000 фотографий, рисунков, карт. Кирпич — один из первых инновационных материалов, созданных человеком, полностью преобразивший образ его жизни. Древние кирпичные постройки заложили основы архитектуры, культуры и технологии строительства. Кирпич позволил людям расселиться в неблагоприятных для проживания климатических условиях. Необходимость в качественном керамическом сырье заложила первые знания о геологическом строении, минералогических особенностях и технологических свойствах глинистых пород. Энциклопедия предназначена для широкого круга специалистов в области керамической промышленности, строительства и архитектуры, наук о Земле, истории и археологии, коллекционеров, молодых ученых, аспирантов, студентов и школьников старших классов.

Энциклопедия реализуется по предварительному заказу. Возможна доставка по почте (добавляется стоимость почтовых расходов). Заказ высылать на электронную почту talpabv@gmail.com, по телефону или WhatsApp +7-928-188-41-41, Талпа Борис Васильевич. Тираж ограничен.



«Российская строительная неделя» определит вектор развития отрасли на 2022 г.



С 1 по 4 марта 2022 г. в ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР» в очередной раз стартует «Российская строительная неделя», уже ставшая знаковым событием для профессионалов отрасли. О том, что интересного и нового дирекция выставки планирует предложить участникам и посетителям, рассказала **руководитель выставочного проекта Тамара Лукьяненко**.



– В марте этого года с большим успехом прошли мероприятия «Российской строительной недели»: выставка RosBuild 2021, VII Всероссийское совещание по развитию жилищного строительства, форум «Строим будущее России вместе», салон «Малозэтажное домостроение». Масштабность событию придало широкое участие как лидеров отрасли, так и молодых региональных компаний,

а также обширный спектр актуальных вопросов, которые обсуждались на министерском уровне в рамках деловой программы выставки.

Важной составной частью выставки стало пленарное заседание по жилищному строительству с участием министра строительства и ЖК РФ **Ирека Файзуллина**, Президента Торгово-промышленной палаты Российской Федерации **Сергея Катрына**, председателя Общественного совета Минстроя России **Сергея Степашина**, руководителя Департамента градостроительной политики города Москвы **Сергея Лёвкина**, управляющего директора АО «ДОМ.РФ» **Алексея Ниденса**, президента Национального объединения застройщиков жилья **Леонида Казинца** и представителей других профильных ведомств и организаций. Мероприятие посетили более 700 застройщиков со всей России.

На выставке также состоялся финал ежегодного градостроительного конкурса жилых комплексов-новостроек «Топ ЖК-2021». Было очень приятно видеть представителей лучших строительных компаний, которые, кстати, с большим интересом знакомились с экспонатами выставки и обсуждали сотрудничество.

Благодаря такой представительной аудитории и насыщенной программе участники смогли пообщаться с девелоперами, архитекторами, проектировщиками со всей страны, что, по отзывам, оказалось для них чрезвычайно полезно и эффективно. Это привлекло значительное количество целевых посетителей, которые могли одновременно посмотреть новые материалы и технологии и поучаствовать в обширной деловой программе.

В 2022 г. RosBuild планирует увеличить количество тематических разделов выставки. Уже сейчас понятно, что участие в «Российской строительной неделе» интересно прежде всего компаниям, занятым в сфере производства строительных материалов, как для высотного строительства,

так и для ИЖС. Это фасадные конструкции, инженерные системы, оконные конструкции, кровля, кирпич и оборудование для его производства и т. д.

Формируется большой раздел, посвященный благоустройству территории и ландшафтному дизайну. На выставке также будут широко представлены энергоэффективные технологии и материалы (Passive House), новые технологии по модульному строительству и другие инновационные решения. Актуальной темой стали цифровые решения для строительной отрасли, специально для этого на RosBuild 2022 будет организована IT-галерея, где будут представлены компании, занятые в этой сфере.

Благодаря интересной программе и ожидаемо высокой посещаемости в выставке впервые примут участие крупнейшие федеральные девелоперы и застройщики, а также лидеры отрасли строительных и отделочных материалов: компании «Бонолит», «Русский Запад», Meesenburg, «Строймет», «Шекк», «Фибролит» и др.

Будет значительно расширена география участников. Растет интерес зарубежных строительных компаний к выставке. Уже сейчас подали заявки на участие компании из Италии, Турции и Германии.

Главное событие «Российской строительной недели» – пленарное заседание «Развитие жилищного строительства в Российской Федерации» с участием заместителя Председателя Правительства РФ Марата Хуснуллина – состоится 1 марта 2022 г. На заседании будет определен вектор развития строительной отрасли на 2022 г. Ожидается, что в обсуждении примут участие главы регионов.

Национальное объединение застройщиков жилья (НОЗА) проведет целый ряд мероприятий: конференцию «Новые технологии в жилищном строительстве», круглые столы, посвященные развитию рынка арендного жилья, рейтингованию по потребительским качествам новостроек.

О создании дополнительных возможностей для реализации проектов жилищного строительства в регионах пойдет речь на конференции «Стандарт комплексного развития территорий – новый стандарт качества городской среды в России». В продолжение темы Союз проектировщиков России организует конференцию «Малозэтажная Россия-2022 / Low house 2022».

Активное участие в конференции примет Департамент градостроительной политики города Москвы, который станет организатором международного диалога «Мегаполис – экономический хаб. Как поддержка строительной отрасли может стимулировать экономическую активность города».

Национальное объединение производителей строительных материалов (НОПСМ) проведет на площадке RosBuild Вторую Всероссийскую конференцию отраслевых ассоциаций производителей строительных материалов «Изменения на рынке строительных материалов за время пандемии (2020–2021 гг.)». Программа обещает быть крайне насыщенной и очень актуальной.

Приглашаем всех специалистов строительной отрасли принять активное участие в работе «Российской строительной недели» и выставки RosBuild 2022!



www.rosbuild-expo.ru

УДК 666.32

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-23-27>

Г.И. СТОРОЖЕНКО, д-р техн. наук (storojenko_gi@mail.ru),
Т.Е. ШОЕВА, канд. техн. наук, В.В. ПШЕННИКОВА, магистрант

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)
(630008, Новосибирск-8, ул. Ленинградская, 113)

Исследование сырьевых материалов Западной Сибири для производства керамических облицовочных материалов

В настоящее время в Российской Федерации назрела необходимость строительства в Сибири новых научно-промышленных центров. Они должны в перспективе стать полюсами притяжения как для жителей России, так и зарубежья. Такие центры дадут мощный импульс развитию Сибирского региона и в конечном счете устойчивому развитию российской экономики. Однако новое строительство предполагает наличие развитой базы строительной индустрии, в том числе промышленности современных строительных материалов. В представленной работе изложены результаты исследования глин, полевошпатовых песков Западной Сибири. Приведены общая характеристика сырья, химический и минеральный составы, технологические и керамические свойства. Установлено, что полученные показатели качества позволяют использовать исследованные сырьевые материалы в производстве керамических облицовочных материалов, что в дальнейшем может способствовать процессу формирования производства плитки и керамогранита в Западной Сибири, которое в настоящее время практически отсутствует.

Ключевые слова: глины и каолины, полевошпатовые пески, керамогранит, отделочные материалы, развитие регионов, региональная экономика.

Авторы выражают благодарность за помощь в работе начальнику лаборатории ООО «Шахтинская керамика» **АНИСИМОВОЙ Виктории Юрьевне**.

Для цитирования: Стороженко Г.И., Шоева Т.Е., Пшенникова В.В. Исследование сырьевых материалов Западной Сибири для производства керамических облицовочных материалов // *Строительные материалы*. 2021. № 9. С. 23–27.
DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-23-27>

G.I. STOROZHENKO, Doctor of Sciences (Engineering) (storojenko_gi@mail.ru),
T.E. SHOEVA, Candidate of Sciences (Engineering), V.V. PSHENNIKOVA, Master student
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin) (113, Leningradskaya Street, Novosibirsk-8, 630008, Russian Federation)

Research of Raw Materials of Western Siberia for the Production of Ceramic Facing Materials

Currently, there is a need in the Russian Federation to build new scientific and industrial centers in Siberia. In the future, they should become poles of attraction for both residents of Russia and abroad. Such centers will give a powerful impetus to the development of the Siberian region and, ultimately, to the sustainable development of the Russian economy. However, new construction presupposes the presence of a developed base of the construction industry, including the industry of modern building materials. The presented paper presents the results of the study of clays, feldspar sands of Western Siberia. The general characteristics of raw materials, chemical and mineral compositions, technological and ceramic properties are presented. It is established that all the studied indicators make it possible to use these materials in the production of ceramic finishing materials, which in the future may contribute to the formation of the Siberian production of porcelain stoneware, which is currently underdeveloped in the region.

Keywords: clays and kaolins, feldspar sands, porcelain stoneware, finishing materials, regional development, regional economy.

The authors express their gratitude for the help in the work to **ANISIMOVA Victoria Yurievna**, the head of the laboratory of “Shakhtinskaya Ceramics” LLC.

For citation: Storozhenko G.I., Shoeva T.E., Pshennikova V.V. Research of raw materials of Western Siberia for the production of ceramic facing materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 9, pp. 23–27. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-23-27>

Российское могущество прирастать будет Сибирью и Северным океаном и достигнет до главных поселений европейских в Азии и в Америке.

М.В. Ломоносов

На встрече с представителями научной общности Сибирского отделения РАН министр обороны Российской Федерации С.К. Шойгу высказал мнение о назревшей необходимости строительства в Сибири трех – пяти научно-промышленных центров с населением от 300 тыс. до 1 млн человек. Они должны будут стать «новыми полюсами притяжения как для населения всей России, так и для наших многочисленных соотечественников в странах СНГ и дальнем зарубежье» [1]. Такие центры дадут

мощный импульс развитию Сибирского региона и в конечном счете устойчивому развитию российской экономики.

Новое строительство, особенно такое масштабное, предполагает наличие на территории Сибири развитой базы строительной индустрии, в том числе производства современных облицовочных материалов [2–6]. Однако предприятия промышленности строительных материалов неравномерно размещены по территории страны, производство основных ви-

дов материалов сосредоточено в европейской части России (до Урала включительно), где выпускается до 90% товарной продукции отрасли. В Сибирь и на Дальний Восток завозится практически до 100% потребляемых объемов керамической плитки, листового стекла, линолеума, до 70% санитарных керамических изделий, частично мягкие кровельные материалы [7].

Поэтому актуальной становится задача строительства заводов по производству современных высококачественных энергосберегающих и конкурентоспособных строительных материалов, изделий и конструкций с использованием местной сырьевой базы.

По результатам прошедшего в Москве в 2020 г. пленарного заседания «Стратегия развития строи-

тельной отрасли РФ до 2030 года, итоги 2019 года и основные задачи на 2020 год» было принято решение о корректировке некоторых пунктов Стратегии [8]. Минстроем РФ был обозначен ряд целевых результатов [9], в которых для реализации Стратегии пространственного развития РФ планируется увеличение территории поселений до 24 млн га и преимущественное развитие малоэтажной застройки в пригородных и агломерационных зонах расселения. Развитие малоэтажного строительства обусловлено новыми тенденциями в части приоритетов граждан при выборе жилья [10–12]. Комфортность жилья предполагает использование современных отделочных материалов, из которых самым эстетичным является керамическая плитка и керамогранит [13, 14].

Заводы по производству керамических облицовочных материалов на территории Сибири всегда испытывали дефицит качественного местного глинистого сырья. В СССР целенаправленная разведка нерудного сырья на обширных территориях, удаленных от крупных сибирских городов, не велась; в то время достаточно было привезти каолиновое сырье месторождений УССР.

Основными сырьевыми компонентами в производстве керамических облицовочных материалов служат качественные беложгущиеся глины, придающие связность и механическую прочность сырцу, а также обеспечивающие спекаемость материала при обжиге; каолины – для повышения белизны керамического камня; полевой шпат – для снижения температуры спекания; кварцевое сырье – для увеличения механической прочности и регулирования температурного коэффициента линейного расширения материала.

Западная и Восточная Сибирь располагает достаточными природными ресурсами для производства широкого спектра строительных материалов. В частности, большой интерес в связи с отсутствием предприятий производства изделий тонкой керамики на территории Сибири представляет использование местных легкоплавких глин, каолиновых глин Кемеровской области (Барзасская группа месторождений), Красноярского края (Компановское месторождение), пегматитов и полевошпатовых пород для получения керамической плитки и керамогранита.

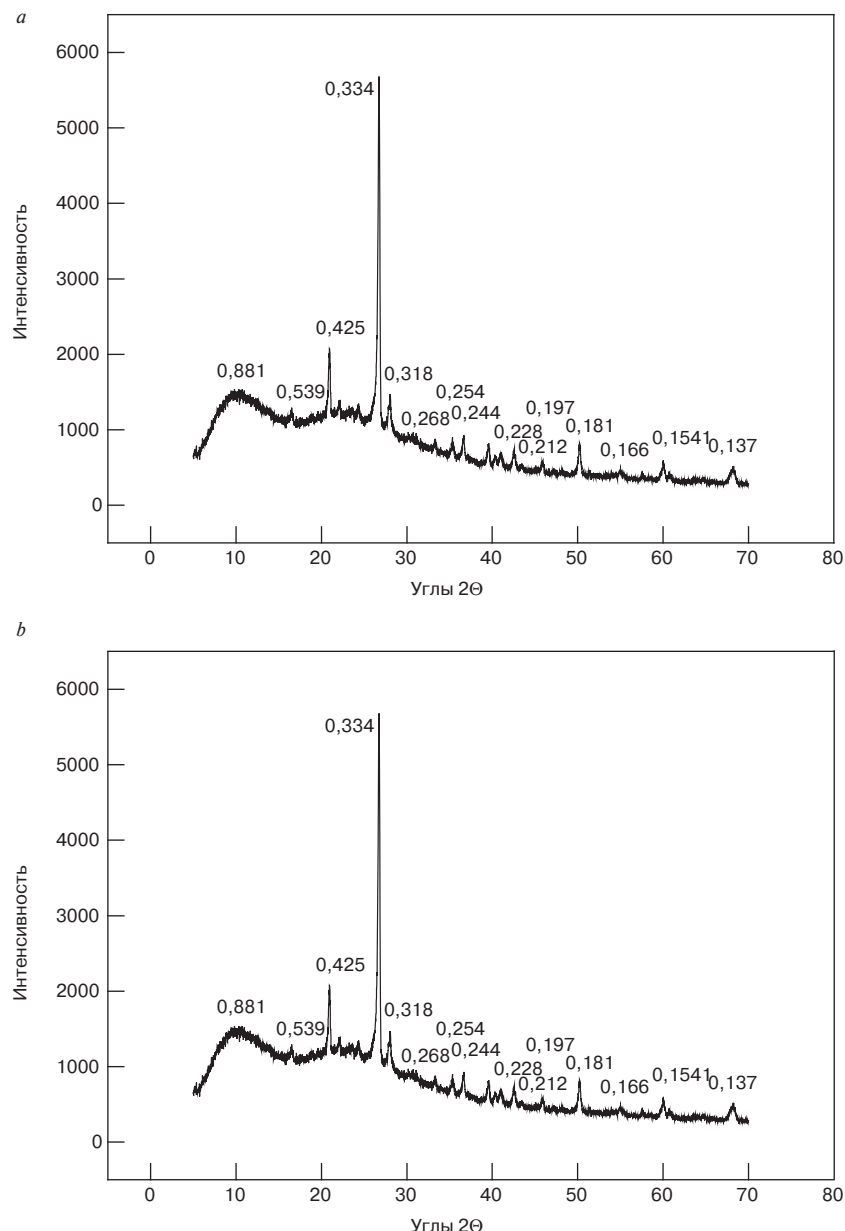


Рис. 1. Дифрактограммы керамического камня: а – опытных плиток; б – плиток ООО «Шахтинская керамика»

Fig. 1. Diffraction patterns of ceramic stone: а – experimental tiles; б – tiles of Shakhhtinskaya Keramika LLC

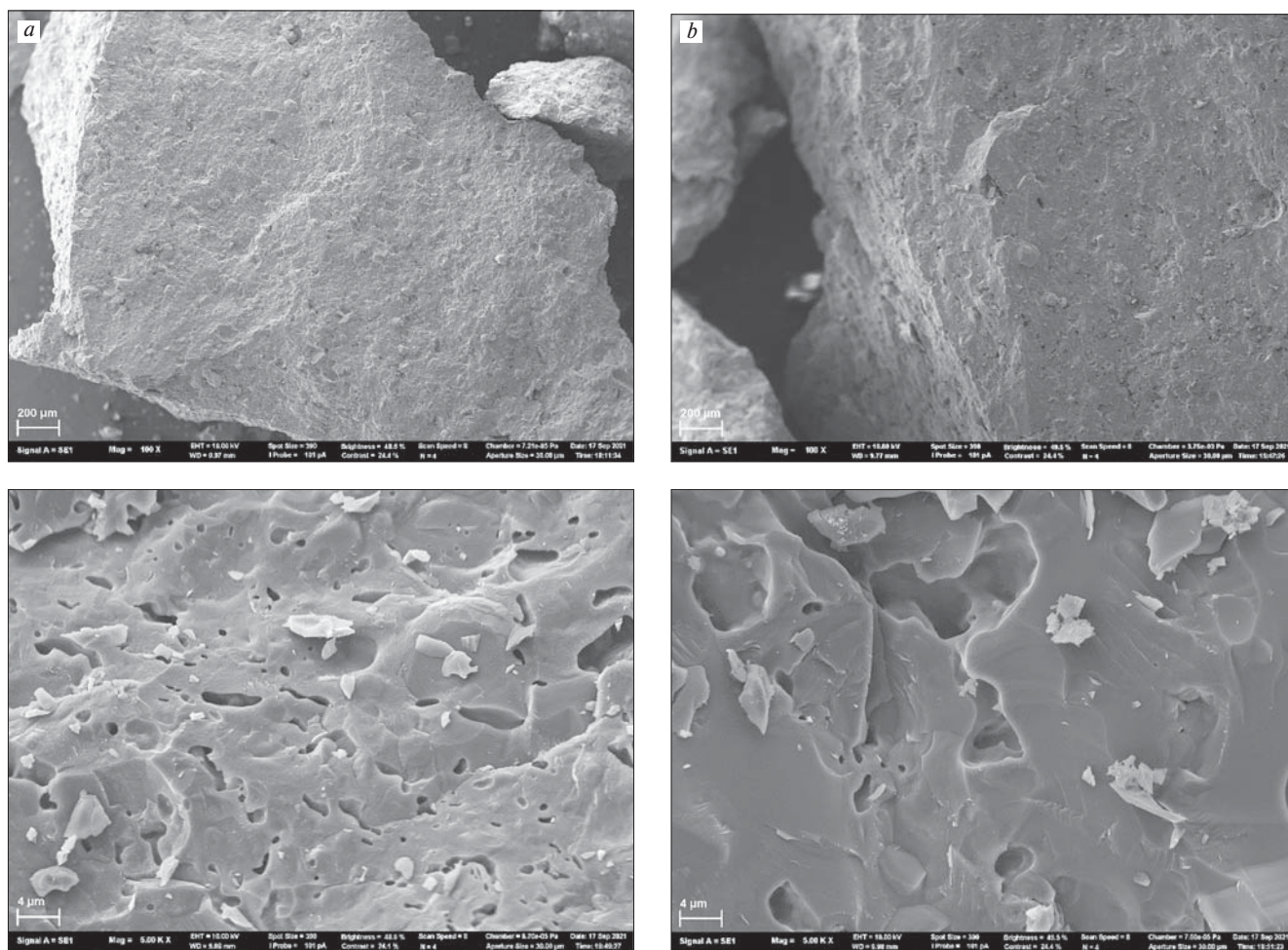


Рис. 2. Структура керамического камня: а – опытных плиток; б – плиток ООО «Шахтинская керамика»
 Fig. 2. The structure of the ceramic stone: a – experimental tiles; b – tiles of LLC «Shakhtinskaya керамика»

Таблица 1
 Table 1

Химический состав сырьевых компонентов
 Chemical composition of raw materials

Сырье	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	P ₂ O ₅	ППП
Мусохрановская глина	61,61	18,42	0,86	4,88	2,12	1,53	3,86	0,17	6,24
Верх-Тулинская глина	62,75	13,2	0,75	6,22	3,98	2,11	3,77	0,19	6,9
Нижнеуевельская глина	63,27	21,23	1,18	2,09	0,09	0,39	0,67	0,11	11,07
Кварц-полевошпатовые пески	55,87	13,1	0,89	6,69	8,69	4,67	5,91	0,16	3,63

Были проведены исследования глинистых пород Мусохрановского (Кемеровская обл.), Верх-Тулинского (Новосибирская обл.), Нижнеуевельского (Челябинская обл.) месторождений для оценки их пригодности в производстве керамических облицовочных материалов. Для увеличения механической прочности использовался кварц-полевошпатовый песок месторождения Кызылское I (Республика Тыва).

Глина Мусохрановского месторождения плотная, бурая, со светло-серыми, желтыми и черными включениями, не хрустит при разрезании ножом, слабозапесоченная. Содержание крупнозернистых включений низкое (0,8–1,1%), не вскипает при взаи-

модействии с 10%-м раствором HCl. Глина среднепластичная (14–16), с содержанием глинистых частиц 35–37%, содержание песчаных – от низкого до среднего (12–22%), среднечувствительная к сушке (65 с по А.Ф. Чижскому).

Верх-Тулинская глина крупнодисперсная по структуре, беспорядочно крупнокомковатая, содержит незначительное количество крупных включений и характеризуется низким содержанием частиц от 0,5 до 5 мм в пределах от 0,74 до 2,85%. При взаимодействии с 10%-м раствором HCl глина вскипает. Сырье умереннопластичное (13–14), с содержанием глинистых частиц 16–18%, песчаных – 18–19%, малочувствительное к сушке.

Таблица 2
Table 2

Физико-механические свойства керамических плиток
Physical and mechanical properties of ceramic tiles

Образцы керамических плиток	Средняя плотность, г/см ³	Водопоглощение, %	Предел прочности при изгибе, МПа
ООО «Шахтинская керамика»	2,332	1,17	45
Разработанный состав, НГАСУ (Сибстрин)	2,348	1,43	32

Нижнеуевельская полукислая каолиновая глина (НУПК) серого или светло-серого цвета, реже с красноватым, буроватым оттенком осадочного происхождения. Содержание крупнозернистых включений не более 3%, не вскипает при взаимодействии с 10%-м раствором HCl. Сырье среднепластичное (15–20), с содержанием глинистых частиц 60–70%, среднечувствительное к сушке.

По химическому составу (табл. 1) исследуемые глинистые породы относятся к группам полукисло-го и кислого сырья со средним и высоким содержанием окрашивающих примесей: Fe₂O₃ от 2,09 до 6,22% и TiO₂ от 0,75 до 1,18%; с высоким содержанием свободного кварца, а также повышенным содержанием CaO (до 3,98%) за счет примесей карбоната кальция.

Результаты рентгенофазового и дериватографического анализов показали, что исследуемые глины являются полиминеральными с различным содержанием кварца, каолинита, монтмориллонита и гидрослюда, а также гидроокислов железа и примесей карбонатных пород и амфибол.

В качестве плавня использовался полевошпатовый песок месторождения Кызылское I, расположенного в юго-восточной части г. Кызыла Республики Тыва.

В исследованиях применялся мокрый способ масшоподготовки как аналог производства керамической плитки на ООО «Шахтинская керамика», с которой проводился сравнительный анализ керамических свойств. Опытные образцы готовились следующим образом. Каолин и полевошпатовый песок раздельно измельчались в лабораторной шаровой мельнице до полного прохождения через контрольное сито № 02. Роспуск легкоплавких глин в воде также осуществлялся в шаровой мельнице. Затем все компоненты в необходимых пропорциях смешивались в шаровой мельнице и влажность шликера доводилась до 33–38%. Шликер высушивался до влажности 6–9% и измельчался до прохождения через сито 1,25 мм. Вылеживание полученного пресс-порошка производилось в эксикаторе в течение 24 ч.

Список литературы

1. Сергей Шойгу – о новых городах в Сибири. Полная версия. URL: <https://www.rbc.ru/politics/06/09/2021/6131fab69a79471a71a0b412> (2021). Текст: электронный.

Серии опытных образцов-плиток размером 120×65×7 мм формовались полусухим двухступенчатым прессованием на лабораторном гидравлическом прессе при давлении прессования 30–40 МПа. После формования образцы высушивались вначале на воздухе, а затем в сушильном шкафу до постоянной массы. Все образцы обжигались в муфельной печи при температуре 1150–1200°C, изотермическая выдержка составляла 1 ч. Охлаждение образцов происходило естественным путем в печи. Для оценки полученных результатов в качестве эталонных образцов использовалась керамическая плитка производства ООО «Шахтинская керамика». В табл. 2 представлены результаты испытаний серии образцов неглазурованных керамических плиток одинакового размера.

Сравнение результатов испытаний керамического камня, полученных рентгенофазовым анализом (рис. 1) и с помощью электронной микроскопии (рис. 2), показало идентичность стеклокристаллических структур как по фазовому составу, так и по морфологии плиток.

Рентгенофазовым анализом (рис. 1) установлено наличие в обеих группах керамических плиток муллита (0,935; 0,343; 0,254 нм), γ-тридимита (0,427; 0,296 нм), β-кварца (0,334; 0,244; 0,228; 0,181 нм).

В микроструктуре камня обеих групп керамических плиток имеются различия. Так, в опытных плитках наблюдаются более мелкие вытянутые поры, структура менее плотная, чем у плиток ООО «Шахтинская керамика» (рис. 2). По этой причине прочность при изгибе у опытных плиток ниже.

Таким образом, исследование местных глинистых пород показало, что их технологические и керамические свойства позволяют разрабатывать на их основе составы для производства керамических отделочных материалов, что в дальнейшем может способствовать процессу формирования Сибирского производства керамогранита, которое малоразвито в данный момент, исключит необходимость завоза аналогичного сырья из отдаленных районов и благоприятно скажется на технико-экономической стабильности функционирования керамических предприятий.

References

1. Sergei Shoigu – about new cities in Siberia. Full version. URL: <https://www.rbc.ru/politics/06/09/2021/6131fab69a79471a71a0b412> (2021). Text: electronic. (In Russian).

2. Хрусталев Б.Б., Логанина В.И., Учаева Т.В. Формирование организационно-экономического механизма управления потенциалом конкурентоспособности предприятий промышленности строительных материалов // *Региональная архитектура и строительство*. 2013. № 1. С. 142–145.
3. Рудычев А.А., Зеленский А.А. Повышение конкурентоспособности предприятий промышленности строительных материалов // *Вестник Белгородского университета потребительской кооперации*. 2006. № 3 (18). С. 19–21.
4. Бердин А.Ю. Специфика стратегии распределительной политики предприятий промышленности строительных материалов // *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого*. 2011. № 3 (46). С. 104–111.
5. Рудычев А.А., Кузнецова И.А., Мухин А.Н. Управление затратами на предприятиях промышленности строительных материалов: теория, методология, практика: Монография. Белгород, 2009. 125 с.
6. Полуянова Н.В. Оценка конкурентного потенциала предприятия промышленности строительных материалов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2013. № 5. С. 115–118.
7. Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 г. <https://strategy24.ru/rf/projects/strategiya-razvitiya-stroitelnoy-otrasli-i-zhilishchnokommunalnogo-khozyaystva-rossiyskoy-federatsii-na-period-do-2030-goda>. Текст: электронный.
8. Российский союз строителей. Общероссийское межотраслевое объединение работодателей: URL: <https://omorrss.ru/>. Текст: электронный.
9. Министерство строительства и ЖКХ России: официальный сайт. Москва. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/>. Текст: электронный.
10. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. Москва. URL: <https://gks.ru/>. Текст: электронный.
11. Банк ДОМ. РФ: официальный сайт. URL: <https://xn-dlaqf.xn-plai>. Текст: электронный
12. Всероссийский центр изучения общественного мнения: официальный сайт. URL: <https://wciom.ru/> Текст: электронный.
13. Рожина М.Д., Поваренко Д.Д., Любомирский А.В. Керамогранит как материал отделки навесных фасадов // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2019. № 5 (80). С. 7–13.
14. Худова М.Д., Луценко В.С., Дементьев С.Ю., Антонова Е.А., Насухин М.Н. Анализ рынка керамической плитки Сибирского федерального округа // *Экономика и предпринимательство*. 2020. № 10 (123). С. 1352–1357.
2. Khrustalev B.B., Loganina V.I., Uchaeva T.V. Formation of an organizational and economic mechanism for managing the potential of competitiveness of enterprises in the building materials industry. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2013. No. 1, pp. 142–145. (In Russian).
3. Rudychev A.A., Zelensky A.A. Increasing the competitiveness of enterprises in the building materials industry. *Vestnik Belgorodskogo universiteta potrebitel'skoy kooperatsii*. 2006. No. 3 (18), pp. 19–21.
4. Berdin A.Yu. The specifics of the strategy of the distribution policy of enterprises in the building materials industry. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. P.O. Sukhogo*. 2011. No. 3 (46), pp. 104–111. (In Russian).
5. Rudychev A.A., Kuznetsova I.A., Mukhin A.N. Upravleniye zatratami na predpriyatiyakh promyshlennosti stroitel'nykh materialov: teoriya, metodologiya, praktika: monografiya [Cost management at enterprises of the building materials industry: theory, methodology, practice: monograph]. Belgorod. 2009. 125 p.
6. Poluyanova N.V. Assessment of the competitive potential of an enterprise in the building materials industry. *Vestnik of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2013. No. 5, pp. 115–118. (In Russian).
7. Development strategy of the construction industry and housing and communal services of the Russian Federation for the period up to 2030 <https://strategy24.ru/rf/projects/strategiya-razvitiya-stroitelnoy-otrasli-i-zhilishchnokommunalnogo-khozyaystva-rossiyskoy-federatsii-na-period-do-2030-goda>. Text: electronic. (In Russian).
8. Russian Union of Builders. All-Russian intersectoral association of employers: URL: <https://omorrss.ru/>. Text: electronic. (In Russian).
9. Ministry of Construction and Housing and Utilities of Russia: official site. Moscow. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/>. Text: electronic. (In Russian).
10. Federal State Statistics Service: official website. Moscow. URL: <https://gks.ru/>. Text: electronic. (In Russian).
11. BankDOM. RF: official site. URL: <https://xn-dlaqf.xn-plai>. Text: electronic. (In Russian).
12. All-Russian Public Opinion Research Center: official site. URL: <https://wciom.ru/> Text: electronic. (In Russian).
13. Rozhina M.D., Povarenko D.D., Lyubomirsky A.V. Porcelain stoneware as a finishing material for hinged facades. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy*. 2019. No. 5 (80), pp. 7–13. (In Russian).
14. Khudova M.D., Lutsenko V.S., Dementyev S.Yu., Antonova E.A., Nasukhin M.N. Analysis of the ceramic tile market in the Siberian Federal District. *Ekonomika i predprinimatel'stvo*. 2020. No. 10 (123), pp. 1352–1357. (In Russian).

В.А. ГУРЬЕВА¹, д-р техн. наук (victoria-gurieva@rambler.ru); В.В. ДУБИНЕЦКИЙ², инженер

¹ Оренбургский государственный университет (460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13)

² Бузулукский гуманитарно-технологический институт (461040, г. Бузулук, ул. Рабочая, 35)

Химический метод активации карбонатсодержащих сырьевых компонентов в технологии производства керамического кирпича методом полусухого прессования

Обосновано, что для расширения сырьевой базы кирпичных заводов Оренбургской области целесообразно использовать многотоннажные отходы бурения, накопленные в регионе. Разработана технология химической обработки минеральной части карбонатсодержащего отхода бурения 6%-м раствором соляной кислоты. В результате химического разрушения структуры кальцийсодержащих минералов непосредственно на амбаровых площадках происходит безопасное выделение углекислого газа, воды и образование CaCl_2 , который плавится в интервале $t=772\text{--}782^\circ\text{C}$, увеличивая количество жидкой фазы, интенсифицируя процессы фазо- и структурообразования керамического камня. Это обуславливает улучшение внешнего вида изделий и их физико-механических свойств. Приведена схема промышленной декарбонизации отходов бурения.

Ключевые слова: керамический кирпич, декарбонизация, минеральная часть, карбонатсодержащий отход бурения, 6%-й раствор соляной кислоты, прочность, твердофазное спекание, химический состав.

Для цитирования: Гурьева В.А., Дубинецкий В.В. Химический метод активации карбонатсодержащих сырьевых компонентов в технологии производства керамического кирпича методом полусухого прессования // *Строительные материалы*. 2021. № 9. С. 28–31. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-28-31>

V.A. GUR'eva¹, Doctor of Sciences (Engineering) (victoria-gurieva@rambler.ru); V.V. DUBINECKIY², Engineer

¹ Orenburg State University (13, Pobedy Avenue, Orenburg, 460018, Russian Federation)

² Buzuluk Humanitarian and Technological Institute (35, Rabochaya Street, Buzuluk, 461040, Russian Federation)

Chemical Method for Activation of Carbonate-Containing Raw Materials in the Technology of Production of Ceramic Bricks by Semi-Dry Pressing

It is justified that in order to expand the raw material base of brick factories in the Orenburg Region, it is advisable to use multi-tonnage drilling waste accumulated in the region. The technology of chemical treatment of the mineral part of the carbonate-containing drilling waste with a 6% hydrochloric acid solution has been developed. As a result of chemical destruction of the structure of calcium-containing minerals, safe release of carbon dioxide, water and formation of CaCl_2 occurs directly on the barn sites, which melts in the range $t=772\text{--}782^\circ\text{C}$, increasing the amount of liquid phase, intensifying the processes of phase and structure formation of ceramic stone. This leads to an improvement in the appearance of products and their physical and mechanical properties. The scheme of industrial decarbonization of drilling waste is given.

Keywords: ceramic brick, decarbonization, mineral part, carbonate-containing drilling waste; 6% hydrochloric acid solution; strength; solid-phase sintering; chemical composition.

For citation: Gur'eva V.A., Dubineckiy V.V. Chemical method for activation of carbonate-containing raw materials in the technology of production of ceramic bricks by semi-dry pressing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 9, pp. 28–31. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-28-31>

Эффективная система мер поддержки строительной отрасли, а также снижение процентных ставок по ипотечному кредитованию в условиях пандемии на территории России обусловили подъем темпов роста жилищного строительства.

При этом увеличение количества вводимого жилья на первичном рынке выявило дефицит керамического кирпича местного производства — экологически чистого и долговечного стенового материала [1]. Данная проблема актуальна для строительной отрасли Оренбургской области, где доля керамического кирпича составляет не более 5% от общего рынка стеновых материалов. Недостаток собственного производства компенсируется привозным керамическим кирпичом с предприятий ближайших регионов — из Самары, Казани, Мелеуза и др.

Сложившаяся ситуация обусловлена несколькими взаимосвязанными ключевыми факторами. Во-первых, отсутствием на территории области достаточного количества заводов, выпускающих керамический кирпич; во-вторых снижением темпов роста производства продукции действующих кирпичных заводов, а также снижением запасов кирпичных глин. Данные обстоятельства заставляют заводы переходить на некондиционные месторождения, перестраивать технологический процесс и совместно с учеными исследовать нетрадиционные для керамического производства сырьевые ресурсы, которые могут быть использованы в производстве.

Одним из путей решения данных проблем является внедрение в производство многотоннажных промышленных отходов. Однако научных знаний в

области прогнозирования и производственного опыта в управлении физико-механическими показателями, на которые влияет подготовка сырья, формование изделий, их сушка и обжиг, накоплено недостаточно [2, 3].

Снижение количества разрабатываемых месторождений высококачественных кирпичных глин на территории РФ, большие затраты на их добычу и транспортировку заставляют предприятия исключать из производства качественное привозное сырье и переходить на использование местного глинистого сырья, как правило, характеризующегося низкой пластичностью и большим количеством примесей. Именно химический и минералогический составы применяемых глинистых пород и добавок оказывают существенное влияние как на технологический процесс, так и на эксплуатационные характеристики выпускаемого керамического кирпича. Большое значение имеет наличие в керамической шихте легкоплавких щелочных компонентов, которые принимают активное участие в образовании расплавов, активизирующих плавление тугоплавких компонентов в условиях низкотемпературного обжига, повышая механическую прочность готового изделия.

Наряду с этим для регионов с развитой нефтегазовой промышленностью актуальной задачей является поиск решения проблемы утилизации отходов бурения скважин, характеризующихся многотоннажностью (более 25 тыс. т/год). Для их складирования предписано [4] создание шламовых амбаров, что значительно усиливает нагрузку на окружающую природную среду.

Внедрение в технологию керамического кирпича промышленного отхода бурения предполагает, согласно исследованиям [5], предварительную предпроизводственную подготовку методом химической активации на месте хранения. Данное обстоятельство обусловлено присутствием в отходе бурения минеральных карбонатсодержащих компонентов, которые в процессе обжига проходят стадию модификационного пре-

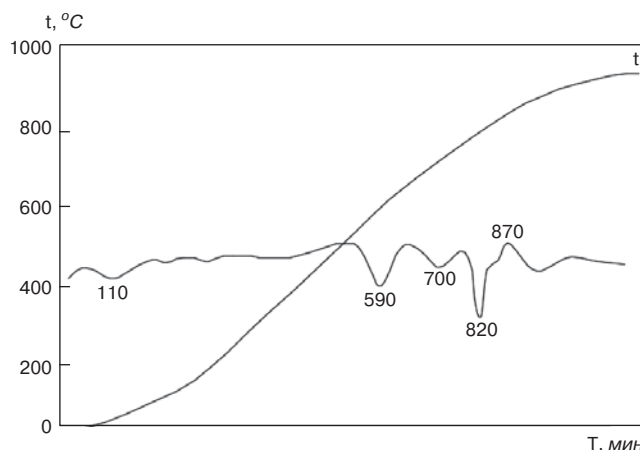


Рис. 1. Термограммы керамического образца на основе суглинка Бугурусланского месторождения с добавкой 40% КОБ

Fig. 1. Thermograms of ceramic sample based on loam of Buguruslan deposit with addition of 40% of treated carbonate-containing drilling waste

ращения с выделением углекислого газа. Это влияет на структурные изменения готового изделия, его однородность и эксплуатационные параметры, определяя снижение прочностных показателей [6].

Карбонатные соединения, присутствующие в минеральном продукте отхода бурения, суммарно составляют более 48% (табл. 1) Их термическое разрушение вызывает на поверхности обожженного керамического кирпича дефекты в виде дутиков.

Для исследования в качестве опытных глин использован суглинок Бугурусланского месторождения, химический состав которого представлен в табл. 2.

Карбонатсодержащий отход бурения (далее – КОБ) предварительно обрабатывали 6%-м раствором соляной кислоты в количестве 18–20 л на 1 м³ минеральной части, что позволило безопасно разрушить структуру кальцита и снизить его содержание на 71,3% при условии распределения обрабатываемого слоя толщиной 150–200 мм. Смесь легкоплавкого суглинка и обработанного КОБ доувлажняли, прессовали, сушили и обжигали в соот-

Таблица 1
Table 1

Химический состав минеральной части отхода бурения
Chemical composition of mineral part of drilling waste

Содержание оксидов, мас. %										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	SO ₃	SrO	TiO ₂
28,45	4,06	43,6	4,96	3,56	0,68	4,5	0,05	9,22	0,28	0,64

Таблица 2
Table 2

Химический состав суглинка Бугурусланского месторождения
Chemical composition of loam of Buguruslan deposit

Химический состав (содержание оксидов), мас. %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ППП
60,44	13,53	10,46	3,35	2,81	2,92	2,99	3,5

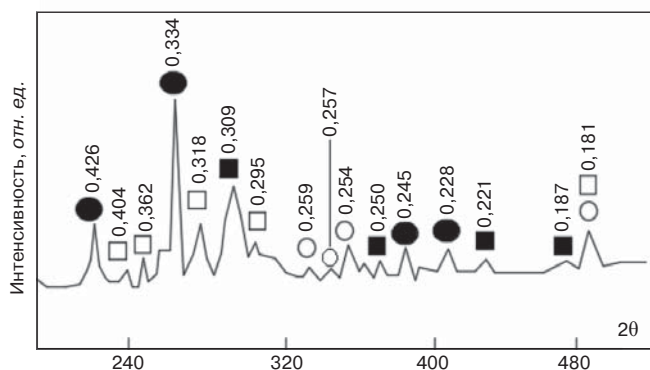


Рис. 2. РФА образцов с добавкой 40% ОКОБ на основе суглинка Бугурусланского месторождения: □ – анортит; ● – кварц; ■ – геденбергит; ○ – растворы сложных солей

Fig. 2. XRF of samples with addition of 40% of treated carbonate-containing drilling waste based on loam of Buguruslan deposit: □ – anorthite; ● – quartz; ■ – hedenbergite; ○ – solutions of complex salts

ветствии с технологией производства кирпича полусухого прессования. Сушили сырец при температуре 90–100°C, а обжигали при температуре 1000–1050°C.

Динамика увеличения физико-механических показателей обожженных изделий объясняется тем, что в процессе обжига происходит раннее образование расплава за счет легкоплавких эвтетик щелочных металлов при температуре 700°C (рис. 1).

Это определяет понижение температуры процесса декарбонизации кальцита, содержащегося в легкоплавком суглинке, с 870 до 820°C при одновременном распаде метакоалинита из карбонатсодер-

жащего отхода бурения с образованием $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ и SiO_2 . Формирование расплава и его обогащение щелочными оксидами, переход $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ в продуктах разрушения суглинка и обработанного 6%-м раствором HCl карбонатсодержащего отхода бурения определяют понижение температуры экзоэффекта с 920 до 870°C, который обусловлен взаимодействием продуктов разрушения метакоалинита с CaO, образованием кристаллов железосодержащих твердых растворов сложного состава, силикатов и алюмосиликатов кальция.

По данным рентгенофазового анализа (рис. 2) образца с содержанием 40% обработанного карбонатсодержащего отхода бурения, наряду с кварцем и гематитом отмечаются дифракционные пики фазы анортита $\text{CaAl}_2[\text{Si}_2\text{O}_8]$ (d: 0,404; 0,362, 0,318; 0,295 нм); геденбергита $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (d: 0,309; 0,25; 0,221, 0,187 нм); твердых растворов сложного состава с волластонитовой структурой типа $\text{Ca}(\text{Mg}_{0,41}\text{Fe}_{0,59})\cdot[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (d: 0,295; 0,259; 0,257; 0,254, 0,181 нм), которая устойчива при температуре ниже 1000°C.

Растворы сложного состава являются продуктами раскристаллизации расплавов при спекании керамических масс. Отклонения от теоретического состава чистого волластонита объясняются изоморфным замещением Ca^{2+} ионами Fe^{2+} , Mg^{2+} и др. Кристаллизация твердого раствора сложного состава обусловлена ранней декарбонизацией и разрушением двойных карбонатов при температуре 820°C, образованием CaO. Данные фазовые и структурные изменения обуславливают повышение предела прочности

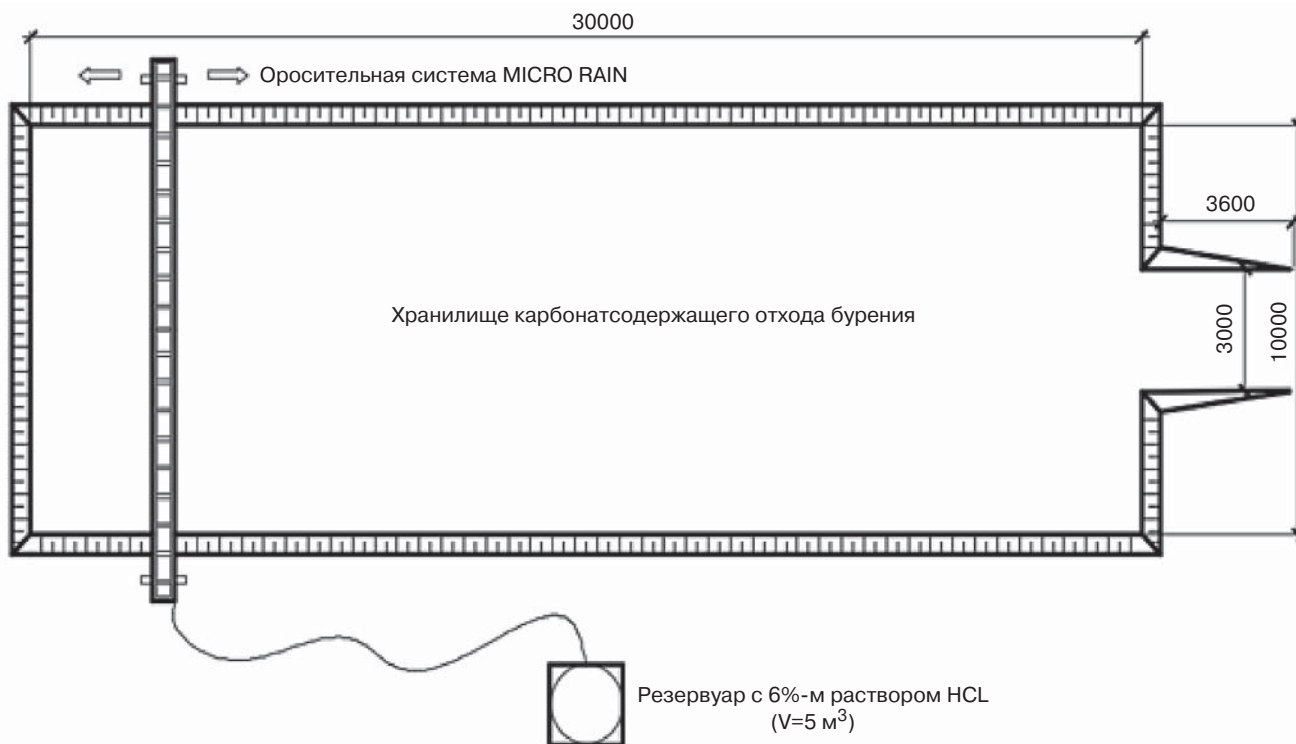


Рис. 3. Схема организации хранилища для обработки КОБ
Fig. 3. Layout of storage for treatment of carbonate-containing drilling waste

при изгибе и при сжатии образцов на основе легкоплавкого умеренно пластичного суглинки и обработанного КОБ [7, 8].

На чертеже представлена схема организации хранилища для обработки КОБ (рис. 3).

Хранилище для обработки КОБ включает оросительную систему с возможностью перемещения по всей длине котлована и резервуар с 6%-м раствором соляной кислоты, соединенный с оросительной системой.

Рабочий раствор соляной кислоты заданной концентрации приготавливается на промышленных кислотных базах, находящихся на территории месторождения, и предназначенных согласно регламента

добычи нефти для кислотной обработки разрабатываемых скважин.

Таким образом, разработанная методика активации [9] карбонатных соединений, входящих в состав отходов бурения, обеспечивает в результате химического разрушения структуры арагонита, доломита непосредственно на амбаровых площадках безопасное для людей и окружающей среды выделение углекислого газа, воды и образование CaCl_2 , который плавится в интервале $t=772\text{--}782^\circ\text{C}$, увеличивая количество жидкой фазы, интенсифицируя процессы фазо- и структурообразования керамического камня, что положительно сказывается на внешнем виде изделия и его физико-механических показателях.

Список литературы

1. Семенов А.А. Состояние российского рынка керамических стеновых материалов // *Строительные материалы*. 2016. № 8. С. 9–15. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2016-740-8-9-15>
2. Коляда С.В. Перспективы развития производства строительных материалов в России до 2020 г. // *Строительные материалы*. 2008. № 7. С. 4–8.
3. Турчанинов В.И. Строительные материалы из промышленных отходов и местного сырья Оренбургской области. Оренбург: ОГУ, 2006. 150 с.
4. Дубинецкий В.В., Гурьева В.А., Вдовин К.М. Буровой шлам в производстве изделий строительной керамики // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 75–76.
5. Гурьева В.А., Дубинецкий В.В., Вдовин К.М., Бутримова Н.В. Стеновая керамика на основе высококальцинированного сырья Оренбуржья // *Строительные материалы*. 2016. № 12. С. 55–59.
6. Салахов А.М., Тагиров Л.Р., Салахова Р.А., Фасеева Г.Р., Хацринов А.И. Повышение прочности изделий строительной керамики: от теории к практике // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. № 5. С. 18–21.
7. Яценко Н.Д., Зубехин А.П. Научные основы инновационных технологий керамического кирпича и управление его свойствами в зависимости от химико-минералогического состава сырья // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 28–31.
8. Павлов В.Ф. Исследование реакций, протекающих при обжиге масс на основе каолиновых глин с добавкой карбонатов кальция, натрия, калия. *Тр. Института НИИ Стройкерамики*, 1981. Вып. 46. С. 53–75.
9. Патент на изобретение № 2750796 РФ. Способ получения изделий строительной керамики / Гурьева В.А., Дубинецкий В.В. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ОГУ». Государственный реестр изобретений Российской Федерации 21 сентября 2020 г.

References

1. Semenov A.A. The state of the Russian market of ceramic wall materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 8, pp. 9–15. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2016-740-8-9-15>
2. Kolyada S.V. Prospects for the development of production of building materials in Russia until 2020. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 7, pp. 4–8. (In Russian).
3. Turchaninov V.I. Construction materials from industrial waste and local raw materials of the Orenburg region. Orenburg: OSU, 2006. 150 p.
4. Dubinetsky V.V., Guryeva V.A., Vdovin K.M. Drilling mud in the production of construction ceramics products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 4, pp. 75–76. (In Russian).
5. Guryeva V.A., Dubinetsky V.V., Vdovin K.M., Butrimova N.V. Wall ceramic on the basis of highly calcined raw materials of Orenburzhye. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 12, pp. 55–59. (In Russian).
6. Salakhov A.M. Increasing the strength of building ceramic products: from theory to practice. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012. No. 5, pp. 18–21. (In Russian).
7. Yatsenko N.D., Zubekhin A.P. Scientific bases of innovative technologies of ceramic bricks and management of its properties depending on the chemical and mineralogical composition of raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 28–31.
8. Pavlov V.F. Investigation of reactions occurring during the firing of masses based on kaolinite clays with the addition of calcium, sodium, and potassium carbonates. *Tr. Instituta NIISTroykeramiki*, 1981. Iss. 46, pp. 53–75. (In Russian).
9. Patent for invention No. 2750796 of the Russian Federation. A method for obtaining construction ceramics products. Guryeva V.A., Dubinetsky V.V. Applicant and patent holder of the OSU. State Register of Inventions of the Russian Federation on September 21, 2020.

В.С. ЛЕСОВИК^{1,2}, д-р техн. наук, член-корр. РААСН; Р.С. ФЕДЮК³, канд. техн. наук (roman44@yandex.ru); А.М. ГРИДЧИН¹, д-р техн. наук (prezident@intbel.ru), Г. МУРАЛИ⁴, PhD (murali@civil.sastra.edu)

¹ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

² Центральный научно-исследовательский и проектный институт Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (ЦНИИП Минстроя России) (119331, г. Москва, пр-т Вернадского, 29)

³ Дальневосточный федеральный университет (690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10)

⁴ Университет САСТРА, Индия (Tirumalaisamudram, Thanjavur – 613401, Tamilnadu, India)

Повышение эксплуатационных характеристик защитных композитов

Создание экологичного строительного материала для защиты среды обитания человека возможно осуществить лишь с позиции трансдисциплинарного подхода с учетом современных достижений геоники (геомиметики) и микромеханики композиционных сред. Разработана широкая номенклатура базальтофибробетонов на композиционных вяжущих, обладающих улучшенными физико-механическими свойствами ($R_{сж}>48$ МПа; $R_{изг}>12$ МПа) и эксплуатационными характеристиками (марка по водонепроницаемости – W18, марка по морозостойкости – F300, высокая термостойкость в диапазоне температуры 700–1100°C). Установлен характер влияния состава и технологии изготовления цементных композитов на их поровую структуру, что положительно сказывается на характеристиках газо-, водо- и паропроницаемости. Выявлено, что водопоглощение у образцов модифицированного бетона ниже, чем у контрольного образца, это объясняется снижением показателя поровой структуры λ в 28,4 раза, а среднего диаметра пор в 3,05 раза. Общий объем пор у модифицированного бетона оказался ниже и уменьшался с увеличением дозы нанокремнезема. Получена высокая ранняя прочность, что позволяет применять материалы для оперативного ремонта и строительства в условиях чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: цементный композит, гидросиликаты кальция, плотность упаковки, наноструктура, микромеханика.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-29-24113.

Для цитирования: Лесовик В.С., Федюк Р.С., Гридчин А.М., Муралли Г. Повышение эксплуатационных характеристик защитных композитов // *Строительные материалы*. 2021. № 9. С. 32–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-32-40>

V.S. LESOVIK^{1,2}, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAACS;

R.S. FEDIUK³, Candidate of Sciences (Engineering) (roman44@yandex.ru);

A.M. GRIDCHIN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (prezident@intbel.ru); G. MURALI⁴, PhD (murali@civil.sastra.edu)

³ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

² Central Research and Design Institute of the Ministry of Construction and Housing and Utilities of the Russian Federation (29, Vernadskogo Avenue, Moscow, 119331, Russian Federation)

³ Far Eastern Federal University (10, Ajax, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation)

⁴ Sastra Deemed University (Tirumalaisamudram, Thanjavur – 613401, Tamilnadu, India)

Improving the Operational Characteristics of Protective Composites

The creation of an eco-friendly building material for the protection of the human habitat can be carried out only from the position of a transdisciplinary approach, taking into account modern achievements of geonics (geomimetics) and micromechanics of composite media. A wide range of basalt fiber concrete based on composite binders has been developed, which have improved physical and mechanical properties ($R_{comp}>48$ MPa, $R_{tens}>12$ MPa) and operational characteristics (water resistance grade-W18, frost resistance grade-F300, high temperature resistance in the temperature range of 700–1100°C). The nature of the influence of the composition and manufacturing technology of cement composites on its pore structure is established, which has a positive effect on the characteristics of gas, water and vapor permeability. It was found that the water absorption of the samples of modified concrete is lower than in the control sample, which is explained by a decrease in the pore structure index λ by 28.4 times, and the average pore diameter by 3.05 times. The total pore volume of the modified concrete was lower, and decreased with an increase in the dose of nano-silicon. High early strength was obtained, which makes it possible to use materials for operative repair and construction in emergency situations.

Keywords: cement composite, calcium hydro-silicates, packing density, nanostructure, micromechanics.

The work was carried out within the framework of the RFBR grant No. 18-29-24113.

For citation: Lesovik V.S., Fediuk R.S., Gridchin A.M., Murali G. Improving the operational characteristics of protective composites. *Stroitelnye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 9, pp. 32–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-32-40>

Бетона производится больше, чем любого другого синтетического материала на Земле. Текущее мировое производство цемента составляет 3,5 млрд т, этого достаточно для производства более 30 млрд т, или 1,5 м³ бетона на душу населения в год [1]. Нет другого материала, который мог бы заменить бетон в обозримом будущем для удовлетворения потребно-

стей общества в жилье, инфраструктуре и т. д. Одновременно с этим бетон ждет неопределенное будущее из-за значительного его воздействия на окружающую среду (при производстве основного компонента бетона – цемента выделяется 5–10% мировых выбросов CO₂). В связи с этим можно заключить, что микромеханика композиционных сред

может быть дисциплиной, которая позволяет разрабатывать в том числе экологически безопасный зеленый бетон будущего.

Создание экологичного строительного материала возможно осуществить лишь с позиции трансдисциплинарного подхода с учетом современных достижений геоники (геомиметики) [2–4]. При применении законов подобия, принципов техногенного метасоматоза и микромеханики композиционных сред при проектировании цементного композита компоненты связываются воедино, уплотняя структуру за счет управления поровым пространством и соответственно повышается долговечность материала [5–8].

Фундаментальная идея предлагаемого подхода состоит в том, что можно оценить наноструктуру материала с помощью микромеханики [9–11]. В представленной работе этот подход проиллюстрирован на примере применения к гидросиликату кальция (C–S–H), связующей фазе материалов на основе цемента [12–14]. Для этого класса материалов C–S–H существует по крайней мере в трех структурно различных, но схожих по составу формах: с низкой плотностью (low density, LD), высокой плотностью (high density, HD) и сверхвысокой плотностью (ultra high density, UHD) [15–17]. Эти три формы отличаются только плотностью упаковки частиц размером менее 5 нм [18–20]. Существование и механическое значение этих фаз подтверждено наноиндентированием [21–23]: было обнаружено, что LD C–S–H и HD C–S–H уникально характеризуются набором свойств материала, которые не зависят от пропорций смеси (количества цемента и т. д.) [24–26]. Связь между этими механическими свойствами фазы гидросиликатов кальция и ее плотностью упаковки была установлена. Это показывает, что фазы C–S–H демонстрируют уникальную нанозернистую (наногранулярную) морфологию с плотностями упаковки, которые очень близки к предельным плотностям упаковки сфер, а именно предел случайной плотной упаковки (random close-packed limit, RCP) или максимально случайное заблокированное состояние (maximally random jammed state, MRJ) $\eta = 0,64$ [27–29] для фазы LD C–S–H, и упорядоченная упаковка двух видов: гексагональная или гранецентрированная кубическая, равная по теореме Гаусса, $\eta = \pi/\sqrt{18} = 0,74$ [30–32] для фазы HD C–S–H. В этой модели считается, что пористость гидросиликатного геля не является постоянной, она зависит от объемных пропорций LD (f_{LD}) и HD C–S–H (f_{HD}):

$$\varphi_0 = 1 - (0,64 \cdot f_{LD} + 0,74 \cdot f_{HD}). \quad (1)$$

В методике наноиндентирования твердость H и модуль вдавливания M , определенные из кривой «нагрузка–глубина» ($P-h$) в соответствии с классическими инструментами анализа [33–35], являются репрезентативными для свойств частицы (жесткость частицы m_s , твердость h_s , коэффициент трения μ) и

упаковки их частиц (плотность упаковки η), а также некоторые морфологические параметры (обозначаемые η_0) [13–14]:

$$H = \frac{P}{A_c} = h_s \cdot \Pi_H(\mu, \eta, \eta_0); \quad (2)$$

$$M = c \frac{(dP/dh)h_{max}}{\sqrt{A_c}} = m_s \cdot \Pi_M(\nu, \eta, \eta_0), \quad (3)$$

где A_c – предполагаемая площадь контакта; Π_H и Π_M – безразмерные функции, а ν – коэффициент Пуассона. Линейная и нелинейная микромеханика представляет собой удобный способ определения этих функций [36–40].

Целью данного исследования явилось управление плотностью упаковки гидросиликатов кальция с позиции микромеханики композиционных сред.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились на современном высокотехнологичном оборудовании.

В качестве сырьевых материалов применялись:

– для композиционного вяжущего (КВ): портландцемент ЦЕМ 32,5Н; алюмосиликатная добавка (АСД), полученная путем очистки золошлаковой смеси; гидротермальный нанокремнезем в двух формах (золя и порошка);

– для бетонной смеси: суперпластификатор Pantarhit PC 160 (СП); кварцевый песок (П); базальтовая фибра.

С позиции закона подобия, базальтовая микрофибра имеет схожие деформативные характеристики с цементным камнем (линейные коэффициенты температурного расширения $8 \cdot 10^{-6}$ и $10 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ соответственно). Это усиливает сцепление C–S–H-геля с поверхностью фибры и повышает напряжение сдвига цементной матрицы относительно поверхности фибры, и таким образом проявляется синергетическое усиление действия разномасштабной комбинации «нанокремнезем – базальтовая микрофибра».

Результаты и дискуссия

Модифицированное композиционное вяжущее, песок и базальтовая фибра в сухом виде перемешивались до однородности, затем приливалась однородная смесь воды, золя нанокремнезема и СП и перемешивалась (табл. 1).

Структурообразующая роль заполнителя в наибольшей степени проявляется при увеличении поверхности взаимодействия, эти условия реализованы в мелкозернистых бетонах с использованием песка Раздольненского месторождения на основе КВ, которые за счет высокоразвитой поверхности позволяют интенсифицировать процессы структурообразования и ускорить твердение в ранние сроки, а также уплотнить структуру.

Эффект повышения прочности при сжатии цементных композитов, модифицированных золом и базальтовой микрофиброй (рис. 1), возростал при

Таблица 1
Table 1Экспериментальные пропорции фибробетонов
Experimental proportions of fiber-reinforced concrete

№ состава*	Цемент	АСД	SiO ₂ **	Вода	СП	Песок	Фибра
Ref-1-2	100	–	–	40	1,1	300	1,5
Ref 1-3	100	–	–	40	–	300	1,5
Ref-3	70	30	–	40	1,1	300	1,5
001SAF	69,99	30	$\frac{0,086}{0,01}$ 0,08	39,72	0,33	300	1,5
1SAF	69	30	$\frac{8,6}{1}$ 8	31,74	1,1	300	1,5
2SAF	68	30	$\frac{17,2}{2}$ 16	23,87	1,55	300	1,5
3SAF	67	30	$\frac{25,8}{3}$ 24	15,88	2,2	300	1,5
2SACF	68	30	$\frac{17,2}{2}$ 16	23,87	1,55	300	1,5
3SACF	67	30	$\frac{25,8}{3}$ 24	15,88	2,2	300	1,5
001PAF	69,99	30	0,01	39,8	0,33	300	1,5
1PAF	69	30	1	39,34	1,1	300	1,5
2PAF	68	30	2	39,07	1,55	300	1,5
3PAF	67	30	3	38,68	2,2	300	1,5
2PACF	68	30	2	39,07	1,55	300	1,5
3PACF	67	30	3	38,68	2,2	300	1,5
1LCF	79	–	$\frac{0,086}{0,01}$ 0,08	23,74	1,1	300	1,5
2LCF	78	–	$\frac{8,6}{1}$ 8	15,87	1,55	300	1,5
3LCF	77	–	$\frac{17,2}{2}$ 16	7,88	2,2	300	1,5
4LCF	68	–	$\frac{25,8}{3}$ 24	11,87	1,55	300	1,5

* LCF – малоцементный (low cement + fiber); SAF – золь+АСД+фибра (sol + aluminosilicate + fiber); PAF – нанопорошок+АСД+фибра (powder + aluminosilicate + fiber); SACF и PACF – комплексная добавка SiO₂+СП (complex).
** Для составов типа SAF и LCF в столбце SiO₂: в первой строке указан расход золя, во второй – расход твердых наночастиц SiO₂ в составе золя, в третьей – расход золя.

увеличении дозы SiO₂ от 0,01 до 3% от массы цемента, при этом особо проявляясь для раннего возраста.

Синергетический эффект двух разномасштабных материалов можно оценить сопоставлением абсолютного значения приращения прочности при изгибе при дозировке наночастиц SiO₂ в количестве 3 мас. % для состава групп SF (золь + фибра) относительно контроля в группе S (модифицирование золом) с простой суммой абсолютных приращений прочности при изгибе за счет самостоятельного мо-

дифицирующего действия наночастиц SiO₂ и микрофибры: в возрасте 1 сут – 2,8 МПа (относительный вклад 82,9% – наночастицы SiO₂, 7,1% – микрофибра) и 1,2 МПа (в 2,33 раза больше); в возрасте 7 сут – 4,1 МПа (48,8% – наночастицы SiO₂, 51,2% – микрофибра) и 3,2 МПа (1,28 раза); 28 сут – 80 МПа (41,25% – наночастицы SiO₂, 58,75% – микрофибра) и 6,2 МПа (в 1,29 раза выше); для состава 3SFC – 9,3 МПа (49,5% – наночастицы SiO₂, 50,5% – микрофибра) и 6,7 МПа (в 1,38 раза выше). Относительный

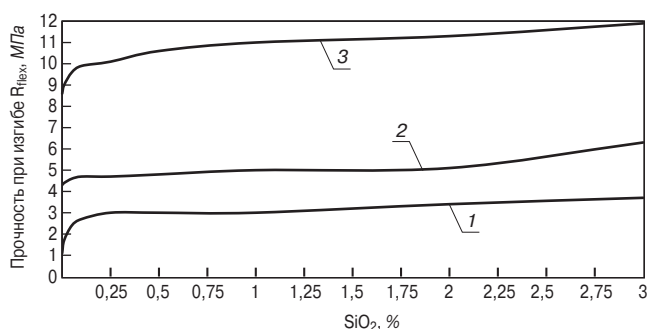


Рис. 1. Зависимость прочности при изгибе образцов от дозировки золя наночастиц SiO₂ мас. %: 1 – 1 сут; 2 – 7 сут; 3 – 28 сут
Fig. 1. Dependence of the flexural strength of the samples on the dosage of the sol of SiO₂ nanoparticles wt. %: 1 – 1 day; 2 – 7 days; 3 – 28 days

вклад наночастиц в синергетический эффект выше в раннем возрасте (1 сут) за счет относительно большего увеличения объема C–S–H-геля на этом этапе гидратации алита и относительно большего вклада пуццолановой реакции.

Наночастицы SiO₂ ускоряют кинетику гидратации C₃S и участвуют в пуццолановой реакции, повышая объемную долю гидросиликатов кальция C–S–H(I) с низким отношением Ca/Si, в итоге способствуя увеличению объема C–S–H-геля. Также наночастицы SiO₂ повышают объемную плотность упаковки η наногранул в HD-фазе C–S–H-геля, вследствие чего повышаются механические характеристики фаз – М, Н. Именно структурный эффект повышения объемной плотности упаковки наногранул в HD-фазе C–S–H-геля за счет действия наночастиц SiO₂ приводит к тому, что внутри объема более плотной HD-фазы усиливается сцепление C–S–H-геля с поверхностью микрофибры, увеличивается напряжение сдвига C–S–H-геля относительно поверхности фибры и таким образом проявляется синергетическое усиление действия разномасштабной комбинации «наночастицы SiO₂ – базальтовая микрофибра».

Эффект приращения прочности при сжатии и при изгибе, отнесенного к дозировке наночастиц SiO₂, уменьшался по степенным зависимостям, которые можно аппроксимировать с высоким статистическим фактором R² для цементных композитов SF, модифицированных золев и базальтовой микрофиброй, для возраста 28 сут уравнениями:

$$\Delta R_{com}^{28} / [SiO_2] = A / [SiO_2]^z, A=25,379, z=0,62, R^2 = 0,9832$$

$$\Delta R_{flex}^{28} / [SiO_2] = A / [SiO_2]^z, A=27,699, z=0,66, R^2 = 0,9892$$

Степенные зависимости типа A/[SiO₂]^z для ΔR_{com}²⁸/[SiO₂] и для ΔR_{flex}²⁸/[SiO₂] для составов групп SF, PF с возрастaми 1 и 7 сут были найдены при аппроксимации экспериментальных данных с высокими статистическими факторами R².

Согласно представленным результатам, отмечается высокая ранняя прочность. В частности, для образцов с золев нанокремнезема прослеживается почти удвоение предела прочности при сжатии на 1 сут при дозировке SiO₂ в количестве 3%. Также характерно монотонное увеличение прочности с по-

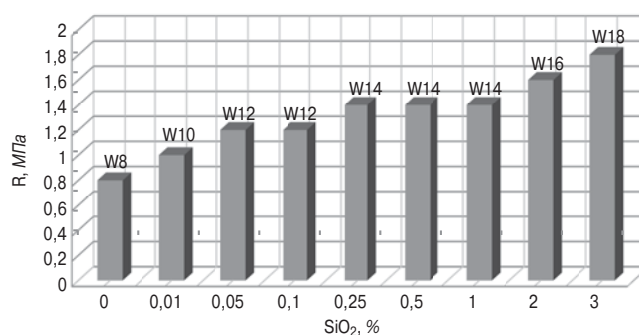


Рис. 2. Зависимость рабочего давления, соответствующего марке по водонепроницаемости, от дозы наночастиц SiO₂
Fig. 2. Dependence of the working pressure corresponding to the water resistance grade on the dose of SiO₂ nanoparticles

вышением дозировки SiO₂. Кроме того, прослеживается заметный эффект при комбинированном вводе SiO₂ и СП, когда они предварительно смешиваются. Значительное влияние на прочность при изгибе оказывают комбинации «фибра + золев» и «фибра + нанопорошок» с учетом прочности. Прослеживаются удачные аппроксимации прочности при сжатии и при изгибе от дозы SiO₂ для составов с включением золя и золя с фиброй для разных возрастaов (1, 7, 28 сут) с закономерным поведением коэффициентов в степенных зависимостях. Для составов с включением нанопорошка SiO₂ и нанопорошка кремнезема с фиброй аппроксимации являются аналогичными.

Водонепроницаемость тяжелого бетона, модифицированного золев наночастиц SiO₂ в количестве 1 мас. %, определяли по ГОСТ 12730.5–2018 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости». При отсутствии фильтрования воды на противоположной

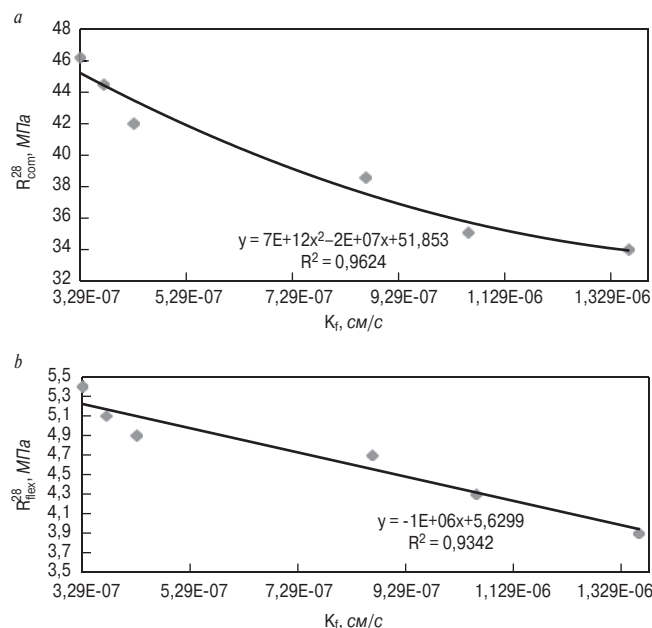


Рис. 3. Статистические корреляции между механическими характеристиками цементных композитов составов S и коэффициентом фильтрации: а – R_{com}²⁸ – K_f; б – R_{flex}²⁸ – K_f
Fig. 3. Statistical correlations between the mechanical characteristics of cement composites S and the filtration coefficient: а – R_{com}²⁸ – K_f; б – R_{flex}²⁸ – K_f

грани образца-куба с размерами $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}^3$ в течение 12 ч при давлении 1 МПа марка по водонепроницаемости контрольных немодифицированных образцов соответствовала W8. Образцы, модифицированные наночастицами SiO_2 , при дозировке 1 мас. % демонстрировали отсутствие профильтровавшейся воды при давлении 1,8 МПа и соответствовали марке по водонепроницаемости W18. При модифицировании тяжелого бетона наночастицами SiO_2 в соответствии с кинетическими кривыми водопоглощения уменьшался средний диаметр и объем капиллярных пор.

В данном исследовании цементные композиты группы (SA и PA) и группы (SF и PF) показали одинаковую марку по водонепроницаемости в зависимости от дозировки наночастиц SiO_2 , которая зависит от среднего диаметра и объема капиллярных пор: при дозировке наночастиц SiO_2 0,01–0,1 мас. % – W10–W12 (1–1,2 МПа); 0,25–1 мас. % – W14 (1,4 МПа); 2 мас. % – W16 (1,6 МПа); 3 мас. % – W18 (1,8 МПа) (рис. 2).

Были найдены статистические корреляции между механическими характеристиками R_{com}^{28} и R_{flex}^{28} и коэффициентом фильтрации K_f (рис. 3). Коэффициент фильтрации K_f определен как отношение объема воды Q_f , профильтровавшейся через сечение образца за определенное время τ , к перепаду давления между гранями образца в направлении фильтрации ($P=0,1 \text{ МПа}$), умноженному на динамическую вязкость воды μ при температуре 20°C ; ρ_w – плотность воды; g – ускорение свободного падения и расстояние между гранями образца δ : $K_f = (\mu \cdot \rho_w \cdot g \cdot \delta \cdot Q_f) / (P - 0,1) \cdot \tau$. При увеличении дозы наночастиц SiO_2 от 0 до 3 мас. % в составах S, модифицированных золом, коэффици-

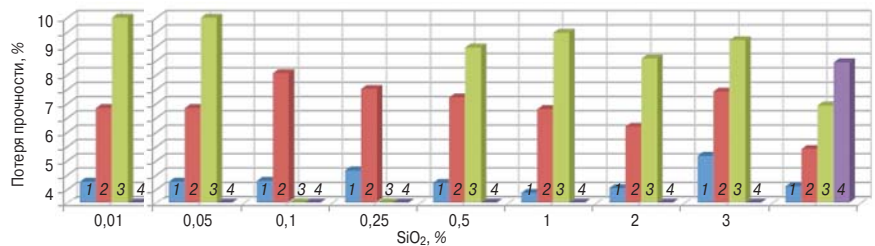


Рис. 4. Потери прочности при сжатии в циклах замораживания-оттаивания: 1 – 200 циклов; 2 – 250 циклов; 3 – 300 циклов; 4 – 350 циклов
Fig. 4. Loss of compressive strength in freeze-thaw cycles: 1 – 200 cycles; 2 – 250 cycles; 3 – 300 cycles; 4 – 350 cycles

Таблица 2
Table 2

Характеристики водонепроницаемости разработанных композитов
Water resistance characteristics of the developed composites

Образец	Уровень фильтрации / давление воды	Продолжительность, ч:мин	Марка
Ref-1-1	5 / 1 МПа	66:51	W10
001SAF	6 / 1,2 МПа	82:27	W10
1SAF	6 / 1,2 МПа	81:29	W10
2SAF	10 / 2 МПа	146:55	W18
3SAF	9 / 1,8 МПа	133:24	W18
3SACF	10 / 2 МПа	147:42	W18

ент K_f уменьшился от $1,36 \cdot 10^{-6} \text{ см/с}$ до $0,329 \cdot 10^{-6} \text{ см/с}$. Для корреляции ($R_{\text{com}}^{28} - K_f$) лучше соответствовала полиномиальная функция, для корреляции ($R_{\text{flex}}^{28} - K_f$) – линейная функция (рис. 3):

$$R_{\text{com}}^{28}: y = 7 \cdot 10^{12} \cdot x^2 - 2 \cdot 10^7 x + 51,853, R^2 = 0,9624;$$

$$R_{\text{flex}}^{28}: y = -1 \cdot 10^6 \cdot x + 5,6299, R^2 = 0,9342.$$

Морозостойкость цементных композитов определяли по числу циклов замораживания-оттаивания, после которых потери прочности при сжатии не превышали 10% и потери массы не превышали 2% относительно контрольных образцов, а также отсутствовали трещины и сколы. Числу циклов соответствовала марка по морозостойкости. При дозировке нанокремнезема в количестве 0,25 мас. % для составов цементных композитов, модифицированных наночастицами SiO_2 и комбинацией «наночастицы

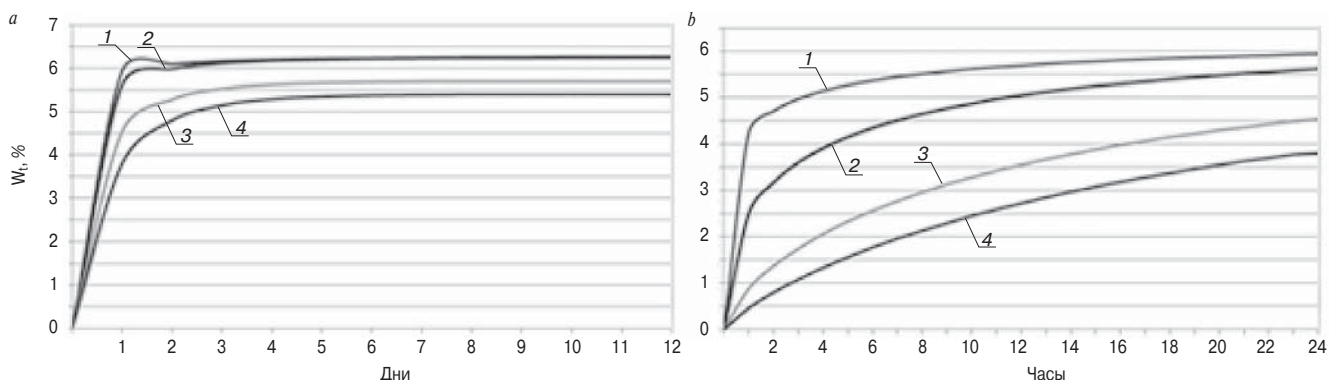


Рис. 5. Кинетика водопоглощения W_t образцов, модифицированных золом SiO_2 : а – в диапазоне 0–12 дней; б – в диапазоне 0–24 ч; при содержании SiO_2 : 1 – 0%; 2 – 0,01%; 3 – 2%; 4 – 3%
Fig. 5. Kinetics of water absorption W_t of samples modified with SiO_2 sol: а – in the range of 0–12 days; б – in the range of 0–24 hours; with SiO_2 content: 1 – 0%; 2 – 0,01%; 3 – 2%; 4 – 3%

Таблица 3
Table 3Термостойкость разработанных композитов
Heat resistance of the developed composites

№ состава	Количество теплосмен до разрушения		
	700°C	900°C	1100°C
001SAF	5	5	1
1SAF	10	8	3
2SAF	12	9	5
3SAF	15	12	7
001PAF	6	4	2
1PAF	9	9	3
2PAF	13	9	4
3PAF	14	13	8
1LC	8	7	3
2LC	11	8	4
3LC	14	11	6
4LC	16	13	8
Ref-1	4	3	1
Ref-1-1	8	6	2
Ref-2	5	4	0
Ref-3	7	6	1

SiO₂ – базальтовая микрофибра», число пройденных циклов повысилось от 200 до 300 (рис. 4).

На рис. 5 показаны кинетические кривые водопоглощения бетонных образцов. Из рис. 5 и табл. 2 видно, что относительная скорость набора массы у образцов модифицированного бетона была ниже и эта разница относительно скорости набора массы возрастала с увеличением дозировки SiO₂. Общий объем пор у модифицированного бетона был ниже и уменьшался с увеличением дозировки SiO₂. Показатель пористой структуры λ и показатель однородности пор α , вычисленные по результатам кинетики водонасыщения $W_i(t) = W_{max} [1 - e^{-(\lambda \cdot t)^\alpha}]$ по ГОСТ 12730.4–78 «Бетоны. Методы определения показателей пористости», изменялись в зависимости от дозы SiO₂, где W_{max} – максимальное изменение массы бетона в результате водопоглощения.

Показатель λ уменьшался, а показатель α увеличивался при увеличении дозировки SiO₂, что соответствовало уменьшению среднего диаметра пор и повышению однородности дифференциального распределения объема пор по диаметру. Установлены следующие значения параметров λ и α для разных доз SiO₂:

Ref-1-1 – контрольный образец, максимальное водонасыщение (по данным сушки) $W_{max} = 6,28\%$, $\lambda = 1,5$, $\alpha = 0,3$;

001SAF – образец с добавкой SiO₂ = 0,01%, $W_{max} = 6,27\%$, $\lambda = 0,239$, $\alpha = 0,469$;

1SAF – образец с добавкой SiO₂ = 1%, $W_{max} = 5,72\%$, $\lambda = 0,08$, $\alpha = 0,706$;

2SAF – образец с добавкой SiO₂ = 2%, $W_{max} = 5,41\%$, $\lambda = 0,0542$, $\alpha = 0,824$.

С учетом того, что показатель пористой структуры λ пропорционален 3-й степени среднего диаметра пор, при концентрации SiO₂ = 3% λ уменьшился в 28,4 раза по сравнению с контрольным образцом, а средний диаметр пор соответственно уменьшился в 3,05 раза. Относительное снижение массы при сушке было ниже у модифицированного бетона и снижалось с увеличением дозы SiO₂. В конце сушки снижение массы у немодифицированного бетона составило 6,25%, у модифицированного бетона при дозе SiO₂ 0,01 мас. % – 6,2%; 2 мас. % – 5,7%; 3 мас. % – 5,4%. Через 4 сут после начала сушки снижение массы у немодифицированного бетона было 4,1%, при дозе SiO₂ 0,5 мас. % – 3,8%; 2 мас. % – 3,4%; 3 мас. % – 2,9%.

Важной эксплуатационной характеристикой для покрытий взлетно-посадочных полос и космодромов является термическая стойкость. Количество теплосмен, вызывающих разрушение образца при разных температурах, приведено в табл. 3. Повышение термической стойкости разработанных композитов объясняется влиянием нанокремнезема на формирование структуры бетона, особенно в переходной зоне между вяжущей матрицей, зёрнами песка и фиброй. Термостойкость повышается благодаря вводу базальтовой микрофибры. Но более сильное влияние на термическую стойкость в составах SAF, PAF и LC оказал ввод нанокремнезема. С увеличением дозировки нанокремнезема повышались показатели термостойкости. Причем по зависимости их от дозы SiO₂ видно, что дальнейшее увеличение дозировки приведет к значительному повышению показателей. Только влиянием нанокремнезема эти результаты объяснить нельзя; здесь прослеживается синергетический эффект композиционного вяжущего, а также взаимодействие частиц песка с поверхностью микрофибры.

Эффект влияния наночастиц SiO₂ сильнее выражен на составах 2LC, 3LC и особенно 4LC, с принудительно меньшим количеством вяжущего. В этих составах отношение микрофибра–песок было тем же, что в составах SF и PF.

Для понимания комплексного влияния состава и структуры композита на его эксплуатационные характеристики необходимо сопоставление результатов по термостойкости с результатами по прочности при изгибе в этих же составах. Прочность при изгибе коррелирует с трещиностойкостью как под действием механической нагрузки, так и под действием напряжений, возникающих от градиентов температуры.

Наиболее вероятным механизмом повышения термостойкости является повышение показателей структуры C–S–H-геля. Ввод наночастиц SiO₂ приводит за счет увеличения количества гидратов и пуццолановой реакции к снижению общей капиллярной пористости, уменьшению показателя λ структуры пор и соответственно снижению среднего диаметра пор. Также увеличивается объемная плотность уклад-

ки частиц, повышаются модуль упругости, твердость фаз С–S–Н-геля. В итоге наночастицы SiO₂ повышают прочность при изгибе и механические коэффициенты трещиностойкости, в том числе под действием градиента температуры.

На поверхности образцов, нагретых до 700°C, видимого эффекта не наблюдалось. Крупные трещины и частичное растрескивание образцов наблюдались при 900°C. Образцы потеряли целостность при 1100°C. Свойства бетона после воздействия температуры можно оценить, наблюдая за изменением цвета бетона.

Степень, серьезность и характер выкрашивания, отслаивания и потери массы различались. Выкрашивание считалось незначительным, когда происходила только поверхностная язвенная коррозия. Однако трещины могут повлиять на термическую стойкость и несущую способность конструктивного элемента, если он подвергает фибру быстрому нагреву. Таким образом, последствия отслаивания зависят от области применения бетона. Например, трещины, которые в большинстве конструкций могут считаться незначительными, создают серьезные проблемы для бетонных покрытий взлетно-посадочных полос, используемых для военных самолетов.

Продукты, полученные в результате исследований материалов для дорожных покрытий специального назначения, были защищены патентами РФ на изобретение:

– № 2691035, дата приоритета 07.12.2018 г. «Автомобильная дорога»;

– № 2665324, дата приоритета 05.10.2017 г. «Электропроводящий бетон».

Выводы

1. Научно обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения эффективных фибробетонов на разработанном модифицированном композиционном вяжущем, обеспечивающих высокие прочностные свойства ($R_{сж} > 48$ МПа, $R_{изг} > 12$ МПа) и эксплуатационные характеристики (марка по водонепроницаемости – W18, марка по морозостойкости – F300, высокая термостойкость в диапазоне температур 700–1100°C), что позволяет использовать данные композиты для взлетно-посадочных полос аэродромов и космодромов.

2. Выявлено, что наночастицы SiO₂ приводят: к ускорению гидратации C₃S; к появлению дополнительного количества гидросиликатов кальция С–S–Н(I) за счет пуццолановой реакции; увеличению объема С–S–Н-геля и снижению пористости твердого цементного композита; ускорению полимеризации кремнекислородных тетраэдров, повышению степени их полимеризации; снижению отношения Ca/Si в фазах С–S–Н-геля; формированию более упорядоченной структуры С–S–Н-геля с повышенной долей HD фазы с объемной плотностью упаковки гранул $\eta = 0,78$ и более высокими средними значениями M, N по сравнению с LD фа-

зой, имеющей $\eta = 0,66$. Установлено, что механические коэффициенты трещиностойкости возрастают с увеличением объемной доли HD фазы, имеющей более высокие механические характеристики по сравнению с фазой LD.

3. С позиции закона подобия, базальтовая микрофибра имеет схожие деформативные характеристики с цементным камнем (линейные коэффициенты температурного расширения $8 \cdot 10^{-6}$ и $10 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ соответственно). Это усиливает сцепление С–S–Н-геля с поверхностью фибры и повышает напряжение сдвига цементной матрицы относительно поверхности фибры, и таким образом проявляется синергетическое усиление действия разномасштабной комбинации «нанокремнезем – базальтовая микрофибра». Установлено, что с возрастанием дозировки наночастиц SiO₂ изменялся характер разрушения цементных композитов: при дозировке SiO₂ 0,5 мас. % и выше увеличилось количество трещин, уменьшилась их ширина и возрос коэффициент извилистости $K_{сuv}$.

4. Выявлено, что эффективное приращение прочности при сжатии и изгибе, отнесенное к дозировке нанокремнезема, снижается по степенным зависимостям, которые можно аппроксимировать с высоким статистическим фактором R^2 для модифицированных композитов. Установлены высокие значения ранней прочности, в частности при дозировке нанокремнезема в количестве 3% наблюдается удвоение прочности при сжатии в возрасте 1 сут. При этом синергетический эффект на прочность при изгибе оказывает комбинация «микрофибра – нанокремнезем» с учетверением этой характеристики.

5. Доказано положительное влияние состава разработанного композита на эксплуатационные характеристики. Водонепроницаемость модифицированного композита обеспечивает давление воды 2 МПа в течение 148 ч, что соответствует марке W18 (для контрольного образца – W8), марка по морозостойкости – F300. Установлено, что водопоглощение у образцов модифицированного бетона было ниже, чем у контрольного образца, что объясняется снижением показателя поровой структуры λ в 28,4 раза, а среднего диаметра пор в 3,05 раза. Общий объем пор у модифицированного бетона был ниже и уменьшался с увеличением дозы нанокремнезема.

Список литературы / References

1. Ramakrishnan K., Depak S.R., Hariharan K.R., Abid S.R., Murali G., Cecchin D., Fediuk R., Mugahed Amran Y.H., Abdelgader H.S., Khatib J.M. Standard and modified falling mass impact tests on preplaced aggregate fibrous concrete and slurry infiltrated fibrous concrete. *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 298. 153857. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123857>

2. Лесовик В.С. Строительные материалы. Настоящее и будущее // *Вестник МГСУ*. 2017. № 1. С. 9–16.
2. Lesovik V.S. Construction Materials. Present and future. *Vestnik MGSU*. 2017. No. 1, pp. 9–16. (In Russian).
3. Лесовик В.С., Фомина Е.В., Айзенштадт А.М. Некоторые аспекты техногенного метасоматоза в строительном материаловедении // *Строительные материалы*. 2019. № 1–2. С. 100–106. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-100-106>
3. Lesovik V.S., Fomina E.V., Ayzenshtadt A.M. Some aspects of technogenic metasomatism in construction material science. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 1–2, pp. 100–106. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-100-106> (In Russian).
4. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. 287 с.
4. Lesovik V.S. Geonika (geomimetika). Primery realizacii v stroitel'nom materialovedenii [Geonics (geomimetics). Examples of implementation in building materials science]. Belgorod: Publishing house of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. 287 p.
5. Баженов Ю.М., Прошин А.П., Еремкин А.И., Королев Е.В. Сверхтяжелый бетон для защиты от радиации // *Строительные материалы*. 2005. № 8. С. 6–8.
5. Vazhenov Yu.M., Proshin A.P., Yeremkin A.I., Korolev Ye.V. Extra Heavy Concrete for Radiation Protection. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 8, pp. 6–8. (In Russian).
6. Королев Е.В., Очкина Н.А., Баженов Ю.М., Прошин А.П. Радиационно-защитные свойства особотяжелых растворов на основе высокоглиноземистого цемента // *Строительные материалы*. 2006. № 4. С. 54–56.
6. Korolev E.V., Ochkina N.A., Vazhenov Yu.M., Proshin A.P. Radiation-protective properties of very heavy mortars based on high-alumina cement. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 4, pp. 54–56 (In Russian).
7. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования // *Строительные материалы*. 2002. № 6. С. 2–5.
7. Strakhov V.L., Garashchenko A.N. Fire protection of building structures: modern means and methods of optimal design. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2002. No. 6, pp. 2–5 (In Russian).
8. Каприелов С.С., Травуш В.И., Карпенко Н.И., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С., Киселева Ю.А., Пригоженко О.В. Модифицированные высокопрочные бетоны классов В80 и В90 в монолитных конструкциях. Ч. II // *Строительные материалы*. 2008. № 3. С. 9–13.
8. Kaprielov S.S., Travush V.I., Karpenko N.I., Sheinfeld A.V., Kardumyan G.S., Kiseleva Yu.A., Prigozhenko O.V. Modified high-strength concretes of B80 and B90 classes in monolithic structures. Part II. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 9–13 (In Russian).
9. Constantinides G., Ulm F.-J., Van Vliet K.J. On the use of nanoindentation for cementitious materials. *Materials and Structures*. 2003. Vol. 36, pp. 191–196. DOI: [10.1617/14020](https://doi.org/10.1617/14020)
10. Constantinides G., Ulm F.-J. The effect of two types of C–S–H on the elasticity of cement-based materials: Results from nanoindentation and micromechanical modeling. *Cement and Concrete Research*. 2004. Vol. 34. Iss. 1, pp. 67–80. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(03\)00230-8](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(03)00230-8)
11. Cheng Y.T. Cheng C.M. Scaling relationships in conical indentation of elastic perfectly plastic solids. *International Journal of Solids Structures*. 1999. Vol. 36. Iss. 8, pp. 1231–1243. [https://doi.org/10.1016/S0020-7683\(97\)00349-1](https://doi.org/10.1016/S0020-7683(97)00349-1)
12. Ganneau F.P., Constantinides G., Ulm F.-J. Dual-indentation technique for the assessment of strength properties of cohesive-frictional materials. *International Journal of Solids Structures*. 2006. Vol. 43. Iss. 6, pp. 1727–1745. <https://doi.org/10.1016/j.ijssolstr.2005.03.035>
13. Donev A. Cisse I., Sachs D., Variano E.A., Stillinger F.H., Connely R., Torquato S., Chaikin P.M. Improving the density of jammed disordered packings using ellipsoids. *Science*. 2004. Vol. 303. Iss. 5660, pp. 990–993. DOI: [10.1126/science.1093010](https://doi.org/10.1126/science.1093010)
14. Sloane. N.J.A. Kepler's conjecture confirmed. *Nature*. 1998. Vol. 395, pp. 435–436.
15. Oliver W.C. Pharr G.M. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. *Journal of Materials Research*. 1992. Vol. 7 (6), pp. 1564–1583. DOI: <https://doi.org/10.1557/JMR.1992.1564>
16. Ulm F.-J., Constantinides G., Heukamp F.H. Is concrete a poromechanics material? A multiscale investigation of poroelastic properties. *Materials and Structures*. 2004. Vol. 37 (265), pp. 43–58. <https://doi.org/10.1007/BF02481626>
17. Ulm F.-J., Vandamme M., Bobko C., Ortega J.A., Tai K., Ortiz C. Statistical indentation techniques for hydrated nanocomposites: concrete, bone, and shale. *Journal of American Ceramic Society*. 2007. Vol. 90 (9), pp. 2677–2692. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2007.02012.x>
18. Cariou S., Ulm F.-J., Dormieux L. Hardness-packing density scaling relations for cohesive-frictional porous materials. *Journal of Mechanics Physic Solids*. 2008. Vol. 56, pp. 924–952. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2007.06.011>
19. Bobko C.P., Gathier B., Ortega J.A., Ulm F.-J., Borges L., Abousleiman Y.N. The nanogranular origin of friction and cohesion in shale – A strength homog-

- enization approach to interpretation of nanoindentation results. *International Journal of Numerical Analysis Methods Geomechanics*. 2011. Vol. 35, pp. 1854–1876. <https://doi.org/10.1002/nag.984>
20. Vandamme M., Ulm F.-J., Fonollosa P. Nanogranular packing of C–S–H at substoichiometric conditions. *Cement and Concrete Research*. 2010. Vol. 40. Iss. 1, pp. 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.09.017>
 21. Chen J.J., Sorelli L., Vandamme M., Ulm F.-J., Chanvillard G. A coupled nanoindentation/SEM-EDS study on low water/cement ratio Portland cement paste: Evidence for C–S–H/Ca(OH)₂ nanocomposites. *Journal of American Ceramic Society*. 2010. Vol. 93, pp. 1484–1493. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2009.03599.x>
 22. Salemi N., Behfarnia K. Effect of nano-particles on durability of fiber-reinforced concrete pavement. *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 48, pp. 934–941. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.037>
 23. Adetukasi A.O., Fadugba O.G., Adebakin A.O., Adetukasi I.H., Omokungbe O. Strength characteristics of fibre-reinforced concrete containing nano-silica. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 38. Part 2, pp. 584–589. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.123>
 24. Konkol J., Prokopski G. Fracture toughness and fracture surfaces morphology of metakaolinite-modified concrete. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 123, pp. 638–648. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.07.025>
 25. De Jong M.J., Ulm F.-J. The nanogranular behavior of C–S–H at elevated temperatures (up to 700 degrees C). *Cement and Concrete Research*. 2007. Vol. 37, pp. 1–12. DOI:10.1016/j.cemconres.2006.09.006
 26. Zhu W., Hughes J.J., Bicanic N., Pearce C.J. Nanoindentation mapping of mechanical properties of cement paste and natural rocks. *Materials Characterization*. 2007. Vol. 58, pp. 1189–1198. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2007.05.018>
 27. Hou P., Wang, K., Qian, J., Kawashima S., Kong D., Shah S.P. Effects of colloidal nano-SiO₂ on fly ash hydration. *Cement and Concrete Composites*. 2012. Vol. 34. Iss. 10, pp. 1095–1103 <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.06.013>
 28. Hou P.K., Kawashima S., Wang K.J., Corr D.J., Qian J.S., Shah S.P. Effects of colloidal nanosilica on rheological and mechanical properties of fly ash-cement mortar. *Cement and Concrete Composites*. 2013. Vol. 35. Iss. 1, pp. 12–22 <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.08.027>
 29. Sharma U., Singh L.P., Ali D., Poon C.S. Effect of particle size of silica nanoparticles on hydration reactivity and microstructure of C–S–H gel. *Advanced Civil Engineering Materials*. 2019. Vol. 8 (3). 20190007. <https://doi.org/10.1520/ACEM20190007>
 30. Singh L.P., Zhu W., Howind T., Sharma U. Quantification and characterization of C-S-H in silica nanoparticles incorporated cementitious system. *Cement and Concrete Composites*. 2017. Vol. 79, pp. 106–116 <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.02.004>
 31. John E., Matschei T., Stephan D. Nucleation seeding with calcium silicate hydrate – A review. *Cement and Concrete Research*. 2018. Vol. 113, pp. 74–85. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.07.003>
 32. Abdolhosseini Qomi, M.J. Combinatorial molecular optimization of cement hydrates. *Nature Communications*. 2014. Vol. 5 (4960), pp. 1–10. <https://doi.org/10.1038/ncomms5960>
 33. Cong X., Kirkpatrick R.J. ²⁹Si and ¹⁷O NMR investigation of the structure of some crystalline calcium silicate hydrates. *Advanced Cement Based Materials*. 1996. Vol. 3, pp. 133–143.
 34. Lee, S.Y., Hyder, L.K., Alley P.D. Microstructural and mineralogical characterization of selected shales in support of nuclear waste repository studies. In: Bennet, R.H., Bryant, W.R., Hulbert, M.H. (Eds.), *Microstructure of Fine-Grained Sediments, from Mud to Shale*. Springer-Verlag, New York. 1991, pp. 545–560.
 35. Oliver W.C., Pharr G.M. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology. *Journal of Materials Research*. 2004. Vol. 19 (1), pp. 3–20. <https://doi.org/10.1557/jmr.2004.19.1.3>
 36. Anstis G.R., Hantikul P., Lawn B.R., Marshall D.B. A Critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness: I, direct crack measurements. *Journal of the American Ceramic Society*. 1981. Vol. 64. No. 9, pp. 533–538. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1981.tb10320.x>
 37. Potapov V., Efimenko Yu., Fediuk R., Gorev D., Kozin A., Liseitsev Yu. Modification of cement composites with hydrothermal nano-SiO₂. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2021. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003964
 38. Zhdanok S.A., Potapov V.V., Polonina E.N., Leonovich S.N. Modification of cement concrete by admixtures containing nanosized materials. *Journal of Engineering Physics and Thermophy*. 2020. Vol. 93, pp. 648–652. <https://doi.org/10.1007/s10891-020-02163-y>
 39. Ткачев А.Г., Золотухин И.В. Аппаратура и методы синтеза твердотельных наноструктур. М.: Машиностроение, 2007. 316 с.
 39. Tkachev A.G., Zolotuhin I.V. Apparatura i metody sinteza tverdotel'nyh nanostruktur [Apparatus and methods for the synthesis of solid-state nanostructures]. М.: Mashinostroenie. 2007. 316 p.
 40. Potapov V., Efimenko Y., Fediuk R., Gorev D. Effect of hydrothermal nanosilica on the performances of cement concrete. *Construction and Building Materials*. 2021. 269. 121307. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121307>

УДК 666.97

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-41-46>

Е.А. САДОВСКАЯ¹, инженер (elena_koleda@bk.ru), Е.Н. ПОЛОНИНА¹, инженер;
С.Н. ЛЕОНОВИЧ^{1,2}, д-р техн. наук, иностранный академик РААСН (sleonovich@yandex.ru, CEF@bntu.by);
С.А. ЖДАНОК³, д-р физ.-мат. наук; В.В. ПОТАПОВ⁴, д-р техн. наук, профессор

¹ Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65)

² Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

³ ООО «Передовые исследования и технологии» (223058, Республика Беларусь, Минский р-н, д. Лесковка, ул. Совхозная, 1, кв. 16)

⁴ Научно-исследовательский геотехнологический центр, Петропавловск-Камчатский (683002, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное ш., 30, а/я 56)

Критический коэффициент интенсивности напряжений при поперечном сдвиге для нанофибробетона

Бетон относится к материалам с хрупким разрушением. Дисперсно-армированные нанобетоны, в которых препятствия в виде волокон затрудняют распространение трещин, приобретают свойства вязкого разрушения. Под действием нагрузки развитие трещины неизбежно, но на преодоление каждой преграды в виде фибры затрачивается дополнительная энергия, поэтому процесс раскрытия трещин может постепенно затухать. Представлены результаты испытаний нанофибробетонных образцов на поперечный сдвиг. Испытания проводились по авторской методике на образцах-пластинах с надрезами, позволяющей получить значение критического коэффициента интенсивности напряжений при поперечном сдвиге (K_{IIc}). Данный показатель определяется для условий нагрузки, при которых края трещины смещаются в плоскости трещины нормально относительно фронта распространения трещины. В результате испытаний получены значения K_{IIc} для разных дисперсно-армированных нанобетонов, отличающихся нанобетонной матрицей по прочности при сжатии и различным полиармированием дисперсным волокном на разных структурных уровнях. Установлено, что дисперсное армирование оказывает значительное влияние на повышение трещиностойкости материала. Увеличение значения K_{IIc} относительно неармированного нанобетона составило от 74 до 150% со стальной проволочной фиброй, от 29 до 129% со стальной фиброй из листа, от 14 до 131% с полимерной фиброй, от 22 до 124% в полиармированном составе.

Ключевые слова: фибробетон, нанофибробетон, фибра, трещиностойкость, вязкость разрушения, поперечный сдвиг, критический коэффициент интенсивности напряжений.

Для цитирования: Садовская Е.А., Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Жданок С.А., Потапов В.В. Критический коэффициент интенсивности напряжений при поперечном сдвиге для нанофибробетона // *Строительные материалы*. 2021. № 9. С. 41–46.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-41-46>

E.A. SADOVSKAYA¹, Engineer (elena_koleda@bk.ru), E.N. POLONINA¹, Engineer; S.N. LEONOVICH^{1,2}, Doctor of Sciences (Engineering), Foreign Academic of RAACS (sleonovich@yandex.ru, CEF@bntu.by); S.A. ZHDANOK³, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics); V.V. POTAPOV⁴, Doctor of Sciences (Engineering), Professor

¹ Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Avenue, Minsk, 220013, Belarus)

² Qingdao University of Technology (266033, China, 11 Fushun Rd, Qingdao)

³ ООО "Advanced Research and Technologies" (room 16, 1, Sovkhoznyaya Street, Leskovka, Minsk District, 223058, Republic of Belarus)

⁴ Research Geotechnological Center, Petropavlovsk-Kamchatsky (30, P.O.Box 56, North-Eastern highway, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002, Russian Federation)

Critical Stress Intensity Coefficient at Transverse Shear for Nanofibrobeton

Concrete refers to materials with brittle fracture. Dispersed-reinforced nanobeton, in which obstacles in the form of fibers hinder the propagation of cracks, acquire the properties of viscous destruction. Under the influence of the load, the development of a crack is inevitable, but additional energy is spent on overcoming each obstacle in the form of a fiber, so the process of crack opening can gradually fade. The results of testing of nanofibre concrete samples for transverse shear are presented. The tests were carried out according to the author's method on the samples-plates with incisions, which makes it possible to obtain the value of the critical stress intensity coefficient for transverse shear (K_{IIc}). This indicator is determined for load conditions under which the crack edges shift in the crack plane normally relative to the crack propagation front. As a result of the tests, the values of K_{IIc} were obtained for different dispersed-reinforced nanobeton, differing in the compressive strength of the nanobeton matrix and various poly-reinforcement with dispersed fiber at different structural levels. As a result of the tests, K_{IIc} values were obtained for different dispersed-reinforced nanobeton distinguished by a nanobeton matrix in compressive strength and various poly-reinforcement with dispersed fiber. It is established that dispersed reinforcement has a significant effect on increasing the crack resistance of the material. The increase in the K_{IIc} value relative to non-reinforced nanobeton ranged from 74 to 150% with steel wire fiber, from 29 to 129% with steel fiber from sheet, from 14 to 131% with polymer fiber, from 22 to 124% in a poly-reinforced composition.

Keywords: fibrobeton, nanofibrobeton, fiber, crack resistance, fracture toughness, transverse shear, critical stress intensity coefficient.

For citation: Sadovskaya E.A., Polonina E.N., Leonovich S.N., Zhdanok S.A., Potapov V.V. Critical stress intensity coefficient at transverse shear for nanofibrobeton. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 9, pp. 41–46. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-41-46>

Ввод наночастиц разного химического состава с высокой удельной площадью поверхности и высокой физико-химической активностью поверхности в водно-цементную систему стал перспективным приемом повышения характеристик цементных материалов [1–4].

Изучение свойств нанотрубок и возможность их использования в разных сферах промышленности и жизнедеятельности человека является популярным и перспективным направлением научных исследова-

ний [5–7]. Углеродные нанотрубки имеют мало структурных дефектов, при изгибе могут менять свою структуру, не ломаются и могут распрямиться без повреждений. Все эти механические свойства дают предпосылки для перспективного использования нанотрубок в материалах, лишенных пластических деформаций (хрупких материалов) [8].

Бетон – квазихрупкий материал с низкой деформационной способностью, со связующим веществом

в виде цементного теста [9]. Использование углеродных нанотрубок в цементных композитах по большей части направлено на создание армирующего эффекта на наноразмерном уровне (нанобетон).

Армирование бетона короткими хаотично расположенными волокнами может решить некоторые проблемы, связанные с хрупкостью и низкой устойчивостью к росту трещин. Волокна, используемые в качестве армирования, могут быть эффективными для перекрытия трещин на разных структурных уровнях. На микроуровне волокна препятствуют зарождению и росту трещин, а после того как микротрещины сливаются в макротрещины, волокна создают механизмы, которые снижают их нестабильное распространение, способствуя увеличению прочности на растяжение и вязкости разрушения.

Авторами была разработана схема испытаний, позволяющая провоцировать рост моделированной трещины (надрез) только в режиме поперечного сдвига [10–12].

Цель исследования – испытать нанофибробетонный материал на вязкость разрушения и получить коэффициент интенсивности напряжений при поперечном сдвиге.

Условия и описание методики проведения исследования

В представленной работе авторами предпринята попытка определить критический коэффициент

интенсивности напряжений при поперечном сдвиге (K_{IIc}) для нанофибробетона.

Нанофибробетон представляет собой композиционный материал с дисперсным армированием на разных структурных уровнях. Предполагается, что такая структура позволит материалу эффективно сопротивляться образованию и раскрытию трещин. В качестве армирующего элемента на субмикромасштабном уровне (уровень цементирующего вещества) используются углеродные нанотрубки $l=5 \cdot 10^3$ нм, $d=50-200$ нм [13]. Они будут сдерживать развитие субмикротрещин (размером 10^2-10^3 нм). На микромасштабном уровне (уровень цементного микробетона) развитию трещин (0,39–0,12 мм) будут препятствовать фибровые волокна, размеры которых составляют $l=1-5$ мм, $d=10-50$ мкм. На мезомасштабном уровне (уровень мелкозернистого бетона) обеспечивать трещиностойкость (трещины 0,5–0,9 мм) будут фибровые волокна с размерами $l=1-5$ см, $d=0,1-0,8$ мкм. В качестве армирующих волокон использовались: углеродные нанотрубки (в составе химической добавки) [14, 15]; фибра из листовой стали волнового профиля ФЛВ – 0,9–50; фибра стальная анкерная ФСА Н-0П – 1; фибра полимерная волнистая ФПВ – 0,6–40; фибра базальтовая, микрофибра прямая из проволоки ФС-М-0,20/12 (рис. 1).

Для более корректного и внятного отображения полученных результатов введены следующие условные обозначения типов фибрового армирования:

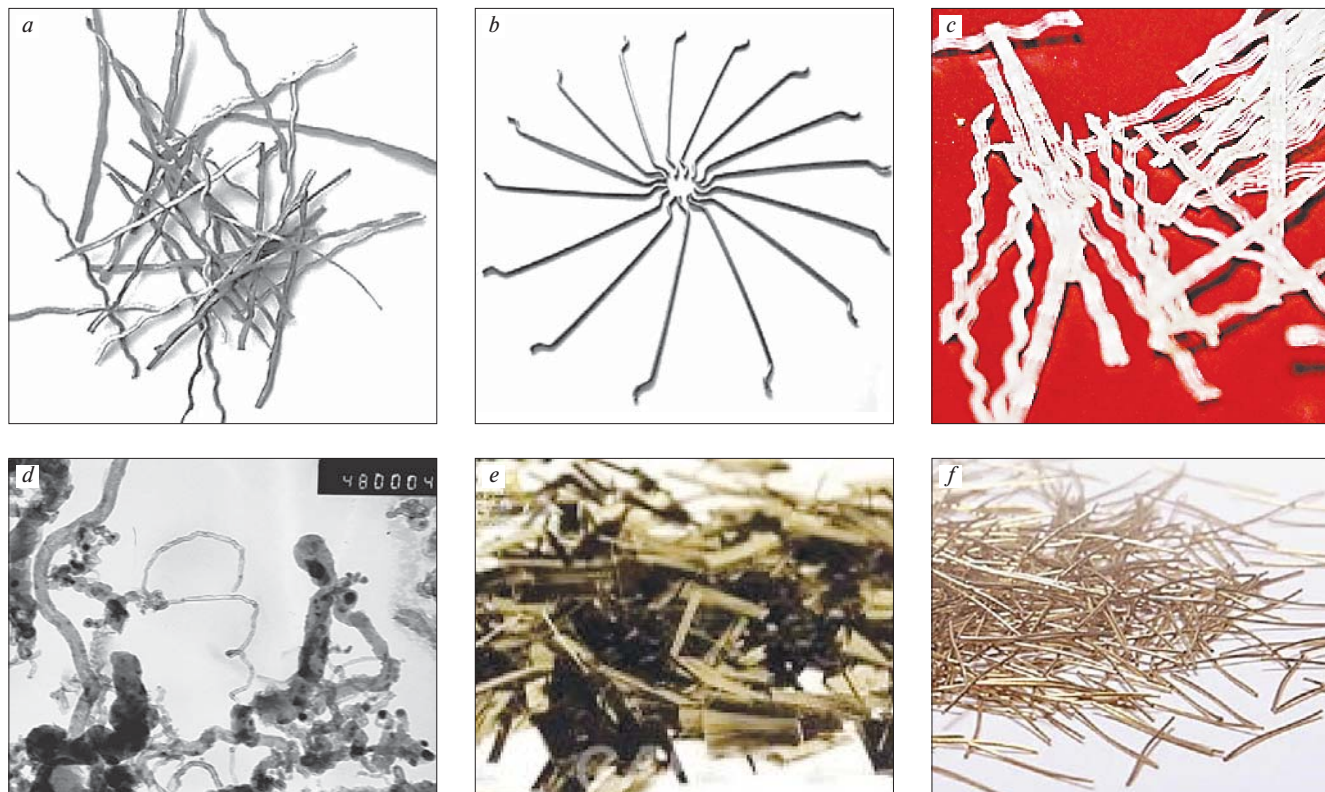


Рис. 1. Армирующие фибровые волокна: *a* – фибра из листовой стали волнового профиля; *b* – фибра стальная анкерная; *c* – фибра полимерная волнистая; *d* – углеродные нанотрубки; *e* – фибра базальтовая; *f* – микрофибра прямая из проволоки
Fig. 1. Reinforcing fiber fibers: *a* – fiber from sheet steel wave profile; *b* – steel anchor fiber; *c* – polymeric wavy fiber; *d* – carbon nanotubes; *e* – basalt fiber; *f* – microfiber straight from wire

Таблица 1
Table 1Составы исследуемых цементных систем, модифицированных наноматериалами
Compositions of the studied cement systems modified with nanomaterials

Состав	Цемент, кг/м ³	Состав компонентов по твердому веществу, г/т добавки			В/Ц	Количество вводимой добавки от массы цемента, %	Массовая доля СП к цементу, %	Массовая доля твердого углерода к цементу, %	Массовая доля твердого SiO ₂ к цементу, %
		Концентрация СП, %	Золь нанокремнезема	Углерод					
1	1300	50	–	–	0,21	0,8	0,4	–	–
2			8	–				–	0,000006
3			–	50				0,00004	–
4			8	50				0,00004	0,000006

Примечание. СП – суперпластификатор в виде водного раствора – поликарбоксилатный сополимер.

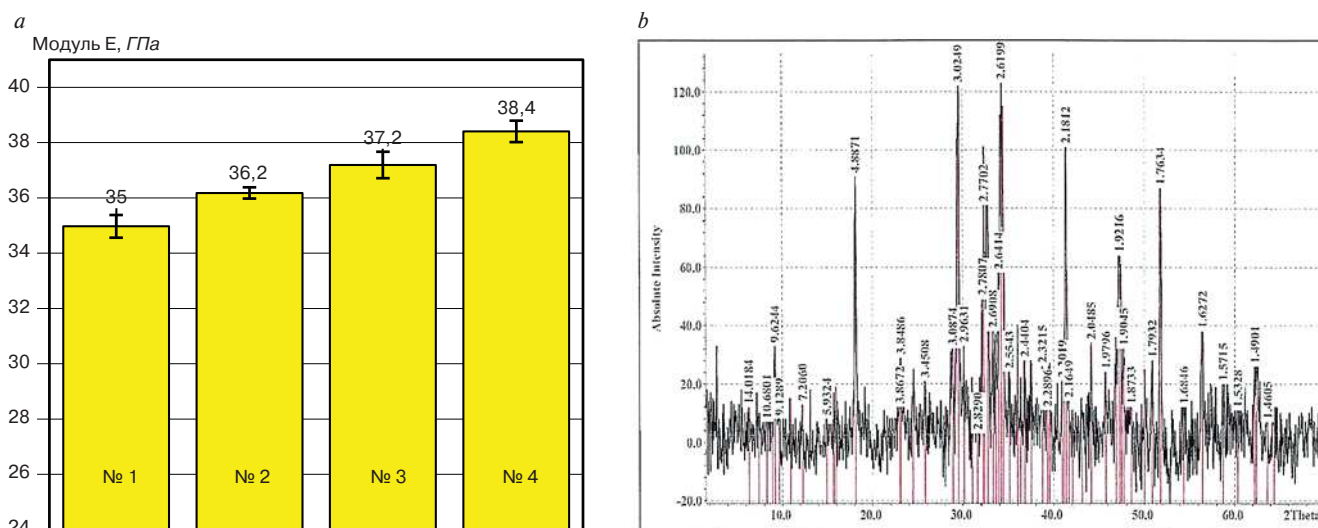


Рис. 2. Модуль упругости E на основе данных ультразвуковых исследований – а; дифрактограмма образца состава № 3 в возрасте 28 сут – б
Fig. 2. Modulus of elasticity E based on ultrasound data – a; Diffraction pattern of the sample of composition No. 3 at the age of 28 days – b

Ф1: углеродные нанотрубки и фибра из листовой стали волнового профиля ($\mu_v=1\%$);

Ф2: углеродные нанотрубки и фибра стальная анкерная ($\mu_v=1\%$);

Ф3: углеродные нанотрубки и фибра полимерная волнистая ($\mu_v=0,44\%$);

Ф4: углеродные нанотрубки, фибра базальтовая ($\mu_v=0,07\%$), микрофибра прямая из проволоки ($\mu_v=0,26\%$) и фибра стальная анкерная ($\mu_v=0,26\%$).

Первая часть исследования проводилась на цементном камне, модифицированном наноматериалами: гидротермальный нанокремнезем (содержание SiO₂ в золе – 120 г/дм³), углеродные нанотрубки (средний диаметр трубок и волокон 10–300 нм, средняя длина трубок и волокон 0,01–20 мкм).

Разработанные рецептуры цементных материалов в диапазоне малых доз наночастиц представлены в табл. 1.

Для ультразвуковых измерений был использован ультразвуковой прямоугольный приемник квадратных волн модели 50777PR, который в сочетании с осциллографом и соответствующими и-образными

датчиками обеспечивал ультразвуковые возможности измерения с используемой частотой 5 МГц (рис. 2, а).

С помощью рентгенофазового анализа получили количественные данные по концентрации основных клинкерных материалов портландцемента (алита, белита, кальций-алюмината, кальций-алюмоферрита), а также портландита (рис. 2, б).

По результатам испытаний получены значения повышения модуля Юнга с наночастицами нанокремнезема на 3,5%, с нанокремнеземными волокнами (МУНТ) на 6,5% (рис. 3, а). Максимальное увеличение модуля упругости (до 10%) наблюдается у образцов, модифицированных комбинацией SiO₂+МУНТ.

При исследовании нанопластиковых образцов на вязкость разрушения в качестве матрицы использовалось несколько видов нанобетонных смесей (табл. 2).

Для проведения эксперимента были изготовлены образцы-кубы 100×100×100 мм, которые испытывались на осевое сжатие и поперечный сдвиг в Научно-исследовательской лаборатории «Промышленное и гражданское строительство» БНТУ в 2020 г.

Таблица 2
Table 2

Рецептуры нанобетонных матриц
Nano-concrete matrix formulations

Состав	Расход компонентов, %							Марка по удобоукладываемости
	Процентное соотношение компонентов бетонной матрицы				% от массы цемента		% от массы вяжущего	
	Цемент	Щебень фр. 5–10 мм	Щебень фр. 5–20 мм	Песок	Сульфo-алюминатная добавка	Микрокремнезем конденсированный уплотненный	Добавка, модифицированная нанокремнеземом	
А	18	–	45	37	–	–	0,8	П5
Б	19	–	45	36	–	–	0,5	П5
В	20	38	–	42	–	–	0,7	Р4
Г	23	39	–	38	8	9	0,7	Р6
Д	18	–	46	36	–	–	0,4	П5
Ж	19	–	46	35	–	–	0,9	П5
И	22	–	39	39	11	–	0,8	Р4

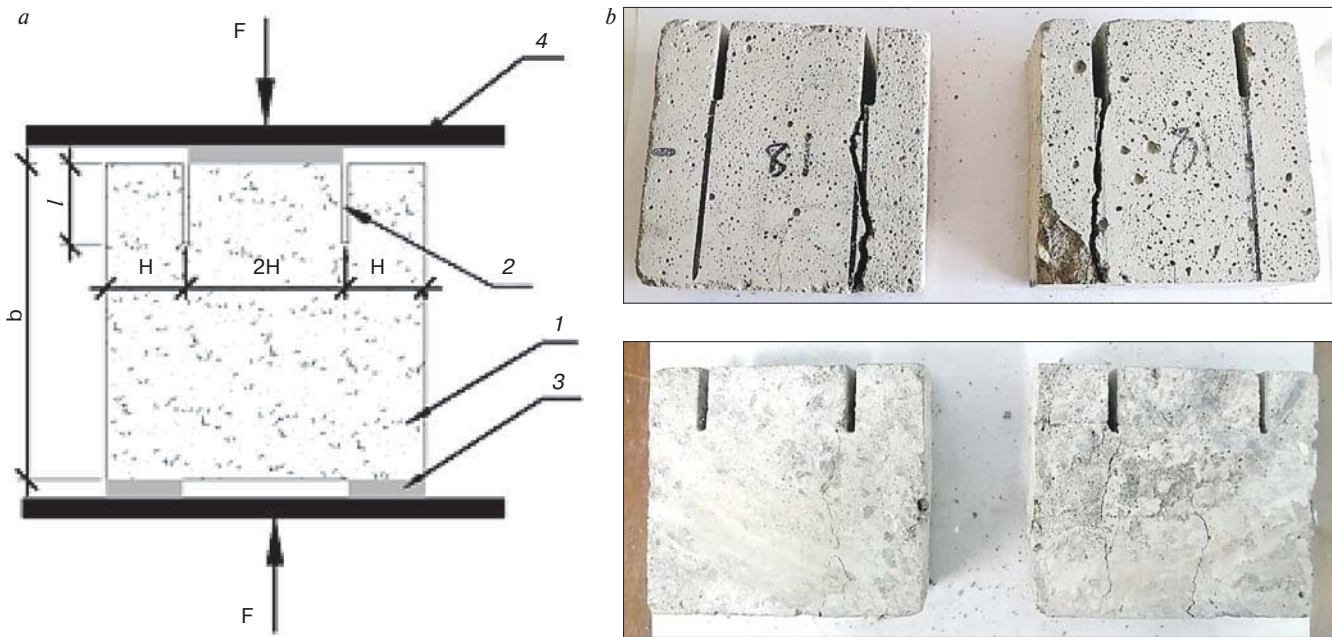


Рис. 3. Схема нагружения образца для расчета K_{IIc} [11] – а; 1 – изделие; 2 – надрезы; 3 – металлические пластины; 4 – плиты пресса; b – высота образца; H – ширина плеча; l – глубина надреза; F – нагрузка, действующая на образец в процессе испытания; образцы после испытаний – б
Fig. 3. Sample loading scheme for calculating K_{IIc} [11] – а; 1 – sample; 2 – incisions; 3 – metal plates; 4 – press plates; b – height of the sample; H – shoulder width; l – depth of the notch; F – load acting on the sample during the test; samples after testing – б

Определение коэффициента интенсивности напряжений на поперечный сдвиг производилось согласно разработанной авторской методике [11]. Особенностью разработанной методики является то, что испытания проводятся не на кубе, а на пластине, образованной при разделении куба на две части при его испытании на нормальный отрыв, и надрезы при испытании располагаются сверху (рис. 3).

Значение критического коэффициента интенсивности напряжения на поперечный сдвиг K_{IIc} (Н/м^{3/2}) рассчитывается по формуле:

$$K_{IIc} = \frac{F_c}{2tH} \sqrt{l \cdot Y(l, b)}, \quad (1)$$

где F_c – нагрузка, при которой происходит разрушение, Н; t – толщина изделия, м; H – ширина плеча

изделия, м; l – глубина надреза, м; $Y(l, b)$ – поправочный коэффициент (определяется по табл. 3).

Таблица 3
Table 3

Значения поправочного коэффициента $Y(l, b)$
Correction factor values $Y(l, b)$

l/b	H		
	0,037	0,025	0,012
0,1	1,2	1,1	1,07
0,2	1,26	0,99	0,9
0,3	1,3	0,95	0,76
0,4	1,32	0,95	0,65

Результаты испытаний на поперечный сдвиг и прочность при осевом сжатии нанофибробетона представлены на рис. 4.

Обсуждение результатов

Стальная анкерная фибра (Ф1) во всех составах – А, Б, В, Г показала стабильный прирост коэффициента интенсивности напряжений на 88; 74; 153; 98% соответственно.

Стальная волнистая фибра (Ф2) в трех составах – Б, В, Г показала прирост значения K_{IIc} на 29; 54; 129% соответственно. В составе А фибра Ф2 повлияла на незначительное снижение показателя трещиностойкости.

Полимерная волнистая фибра (Ф3) оказала меньшее влияние на показатель K_{IIc} . В составе А и Г прирост 14 и 24%, в составе Б трещиностойкость не изменилась, в составе В наибольший прирост – 131%.

В полиармированном нанобетоне (Ф4) также наблюдается увеличение показателя трещиностойкости на 22% в составе И, на 49% в составе Д, на 124% в составе Ж.

Наибольший прирост значения K_{IIc} в нанобетонах с моноармированием наблюдается в составах В и Г. Эти составы характеризуются высокой подвижностью (Р4 и Р6), их матрицы относятся к самоуплотняющимся смесям. В менее подвижных составах нанобетона А и Б (марка матрицы по удобоукладываемости П5) наибольший прирост оказало дисперсное армирование проволочной фиброй анкерного

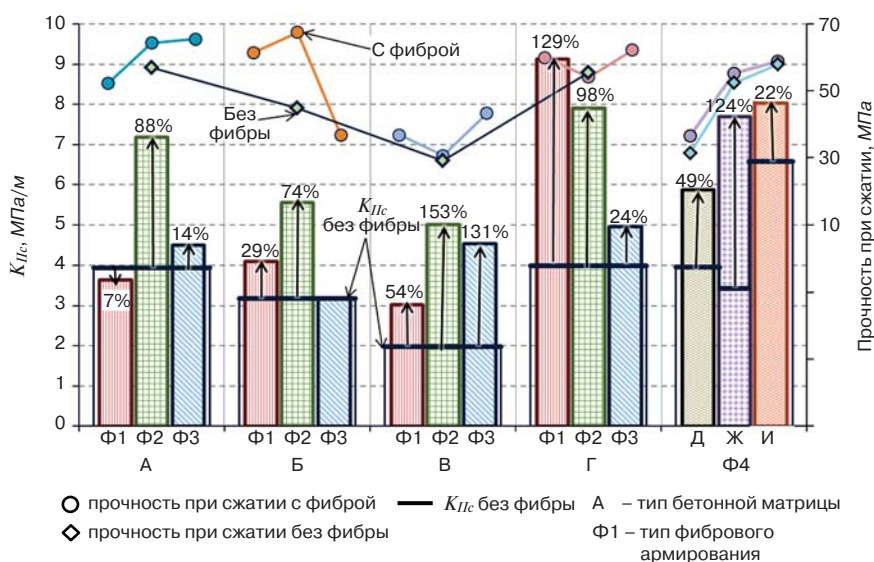


Рис. 4. Результаты испытаний нанофибробетона
Fig. 4. Results of tests of nanofibre concrete

профиля (Ф2). В составах с дисперсным полиармированием нанобетонной матрицы наблюдается увеличение критического коэффициента интенсивности напряжений независимо от подвижности смеси.

Заключение

Фибровое армирование оказывает положительное влияние на трещиностойкость нанобетонов. Увеличение показателя вязкости разрушения K_{IIc} с добавлением фибры может быть связано с сопротивлением волокна скольжению поверхностей трещин. Нанофибробетоны с многоуровневым дисперсным армированием являются перспективным материалом для использования в конструкциях с повышенными требованиями по трещиностойкости.

Список литературы

1. Сарайкина К.А., Голубев В.А., Яковлев Г.И., Федорова Г.Д., Александров Г.Н., Плеханова Т.А., Дулесова И.Г. Модификация базальтофибробетона нанодисперсными системами // *Строительные материалы*. 2015. № 10. С. 64–69.
2. Лхасаранов С.А., Урханова Л.А., Буянтеев С.Л. Исследование фазового состава цементного камня с углеродными наноматериалами // *Строительные материалы*. 2018. № 1–2. С. 23–25. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-756-1-2-23-25>
3. Яковлев Г.И., Дрохитка Р., Первущин Г.Н., Грахов В.П., Саидова З.С., Гордина А.Ф., Шайбадулина А.В., Пудов И.А., Эльрефаи А.Э.М.М. Мелкозернистый бетон, модифицированный суспензией хризотилловых нановолокон // *Строительные материалы*. 2019. № 1–2. С. 4–10. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-4-10>
4. Коледа Е.А., Леонович С.Н., Жданок С.А. Результаты испытаний нанофибробетона на рас-

References

1. Saraykina K.A., Golubev V.A., Yakovlev G.I., Fedorova G.D., Aleksandrov G.N., Plekhanova T.A., Dulesova I.G. Modification of dasaltfiberconcrete by nanodispersed system. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 10, pp. 64–69. (In Russian).
2. Lkhasaranov S.A., Urkhanova L.A., Buiantuev S.L. Research of the phase composition of cement stone with carbon nanomaterials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2018. No. 1–2, pp. 23–25. DOI: [10.31659/0585-430X-2018-756-1-2-23-25](https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-756-1-2-23-25) (In Russian).
3. Yakovlev G.I., Drochytka R., Pervushin G.N., Grakhov V.P., Saidova Z.S., Gordina A.F., Shaybadullina A.V., Pudov I.A., Elrefai A.E.M.M. Fine-grained concrete modified with a suspension of chrysotile nanofibers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 1–2, pp. 4–10. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-767-1-2-4-10> (In Russian).

- тажение с комплексным фибровым армированием // *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии.* 2018. № 2. С. 16–23.
5. Казаков И.А., Красновский А.Н. Влияние функционализированных многостенных углеродных нанотрубок на технологичность процесса изготовления композитной стеклопластиковой арматуры // *Журнал прикладной химии.* 2016. Т. 89. № 8. С. 1062–1070.
 6. Иванов Л.А., Муминова С.Р. Новые технические решения в области нанотехнологий. Ч. 1. *Нанотехнологии в строительстве: Научный интернет-журнал.* 2016. Т. 8. № 2. С. 52–81.
 7. Гришина А.Н., Королёв Е.В. Эффективность модифицирования цементных композитов наноразмерными гидросиликатами бария // *Строительные материалы.* 2015. № 2. С. 72–76. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-722-2-72-76>
 8. Zhdanok S.A. *Fifth ISTC Scientific Advisory Committee Seminar “Nanotechnologies in the Area of Physics, Chemistry and Biotechnology”.* St. Petersburg, Russia, 27–29 May, 2002.
 9. Эберхардштайнер Й., Леонович С.Н., Зайцев Ю.В. Прочность и трещиностойкость конструкционных строительных материалов при сложном напряженном состоянии. Минск: БНТУ, 2013. 522 с.
 10. Леонович С.Н. Прочность, трещиностойкость и долговечность конструкционного бетона при температурных и коррозионных воздействиях: В 2 ч. Ч. 1. Минск: БНТУ, 2016. 390 с.
 11. Патент RU 2621618. *Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжения высокопрочного бетона* / Леонович С.Н., Литвиновский Д.А., Ким Л.В. Опубл. 06.06.2017.
 12. Садовская Е.А., Леонович С.Н., Будревич Н.А. Многопараметричная методика оценки показателей качества нанофибробетона для строительной площадки // *Бетон и железобетон.* 2021. № 4 (606). С. 20–28.
 13. Хрусталева Б.М., Леонович С.Н., Эберхардштайнер Й., Яковлев Г.И., Первущин Г.Н. Влияние многослойных нанотрубок на разрывную прочность // *Наука и техника.* 2012. № 4. С. 52–57.
 14. Жданок С.А., Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Хрусталева Б.М., Коледа Е.А. Влияние пластифицирующей добавки на основе наноструктурированного углерода в самоуплотняющейся бетонной смеси на ее технологические свойства // *Инженерно-физический журнал.* 2019. Т. 92. № 2. С. 391–396.
 15. Жданок С.А., Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Хрусталева Б.М., Коледа Е.А. Влияние пластифицирующей добавки, содержащей углеродный наноматериал, на свойства самоуплотняющегося бетона // *Вестник гражданских инженеров.* 2018. № 6 (71). С. 76–85.
 4. Koleda E.A., Leonovich S.N., Zhdanok S.A. Results of tensile tests of nanofibre concrete with complex fiber reinforcement. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii.* 2018. No. 2, pp. 16–23. (In Russian).
 5. Kazakov I.A., Krasnovsky A.N. Influence of functionalized multi-walled carbon nanotubes on the manufacturability of the process of manufacturing composite fiberglass reinforcement. *Zhurnal prikladnoy khimii.* 2016. Vol. 89. No. 8, pp. 1062–1070. (In Russian).
 6. Ivanov L.A., Muminova S.R. New technical solutions in the field of nanotechnology. Part 1. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: scientific online journal.* 2016. Vol. 8. No. 2, pp. 52–81. (In Russian).
 7. Grishina A.N., Korolev E.V. Effectiveness of cement composite nanomodification with nanoscale barium hydrosilicates. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials].* 2015. No. 2, pp. 72–76. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2015-722-2-72-76>
 8. Zhdanok S.A. *Fifth ISTC Scientific Advisory Committee Seminar “Nanotechnologies in the Area of Physics, Chemistry and Biotechnology”.* St. Petersburg, Russia, 27–29 May, 2002.
 9. Eberhardsteiner J., Leonovich S.N., Zaitsev Yu.V. Prochnost' i treshchinostoykost' konstruktsionnykh stroitel'nykh materialov pri slozhnom napryazhennom sostoyanii [Strength and crack resistance of structural building materials under complex stress state]. Minsk: BNTU. 2013. 522 p.
 10. Leonovich S.N. Prochnost', treshchinostoykost' i dolgovечnost' konstruktsionnogo betona pri temperaturnykh i korrozionnykh vozdeystviyakh [Strength, crack resistance and durability of structural concrete under thermal and corrosive effects]. Minsk: BNTU. 2016. 390 p.
 11. Patent RU 2621618. *Sposob opredeleniya kriticheskogo koeffitsienta intensivnosti napryazheniya vysokoprochnogo betona* [Method for determining the critical stress intensity factor of high-strength concrete]. Leonovich S.N., Litvinovskii D.A., Kim L.V. Publ. 06.06.2017. (In Russian).
 12. Sadovskaya E.A., Leonovich S.N., Budrevich N.A. A multi-parametric method for evaluating the quality indicators of nano-fiber concrete for a construction site. *Beton i Zhelezobeton [Concrete and Reinforced Concrete].* 2021. No. 4 (606), pp. 20–28. (In Russian).
 13. Khrustalev B.M., Leonovich S.N., Eberhardsteiner J., Yakovlev G.I., Pervushin G.N. Influence of multilayer nanotubes on tensile strength. *Nauka i tekhnika.* 2012. No. 4, pp. 52–57. (In Russian).
 14. Zhdanok S.A., Polonina E.N., Leonovich S.N., Khrustalev B.M., Koleda E.A. Influence of a plasticizing additive based on nanostructured carbon in a self-compacting concrete mixture on its technological properties. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal.* 2019. Vol. 92. No. 2, pp. 391–396. (In Russian).
 15. Zhdanok S.A., Polonina E.N., Leonovich S.N., Khrustalev B.M., Koleda E.A. Influence of a plasticizing additive containing carbon nanomaterial on the properties of self-compacting concrete. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov.* 2018. No. 6 (71), pp. 76–85. (In Russian).



К 70-летию Мухамеда Нургалиевича КОКОЕВА

16 сентября 2021 г. исполнилось 70 лет Мухамеду Нургалиевичу Кокоеву, д-ру технических наук, профессору, генеральному директору АО «Каббалкагропромстрой».

М.Н. Кокоев родился 16 сентября 1951 г. в селении Анзорей Кабардино-Балкарской Республики. Сразу по окончании средней школы он пошел работать, а вскоре поступил в Кабардино-Балкарский государственный университет на инженерно-технический факультет. В 1974 г. молодой инженер-строитель был распределен в объединение «Каббалкмежколхозстрой», через несколько лет преобразованное в объединение «Каббалкагропромстрой», а с 1996 г. — в ОАО «Каббалкагропромстрой». На предприятии, ставшем родным, Мухамед Нургалиевич шаг за шагом совершенствовал свой профессионализм и последовательно поднимался по служебной лестнице, в 1992 г. занял пост генерального директора и возглавляет компанию по настоящее время.

ОАО «Каббалкагропромстрой» — одна из самых мощных и стабильных строительных организаций в республике. Под руководством М.Н. Кокоева в селах и городах Кабардино-Балкарский построено более 6 тыс. объектов социального назначения: жилья, школьных и дошкольных учреждений, объектов культуры, здравоохранения и множество производственных сооружений.

Наряду с профессиональным совершенствованием и организационной работой, Мухамед Нургалиевича всегда увлекала научная деятельность. В 1985 г. он окончил учетно-экономический факультет Кабардино-Балкарского государственного университета, а в 1996 г. защитил диссертацию по теме «Совершенствование организации производства строительных материалов на базе энерго- и ресурсосберегающих технологий» и стал кандидатом экономических наук. В 2005 г. М.Н. Кокоев защитил в Москве диссертацию по теме «Разработка энерго- и ресурсосберегающих строительных изделий, зданий и сооружений» и получил ученую степень доктора технических наук. В 2010 г. ВАК присвоила ему звание профессора.

Мухамед Нургалиевич начал заниматься наукой, уже имея большой производственный опыт. Поэтому все исследования имеют в прямом смысле прикладной характер. Например, он с коллегами впервые предложил методы использования низкопотенциальной тепловой энергии геотермальных месторождений, которыми богат Северо-Кавказский и другие регионы России, для энергоснабжения производств силикатного кирпича и бетона.

В производстве бетона наполнители играют важную роль. Оригинальное решение было найдено М.Н. Кокоевым по использованию ветровой энергии для производства щебня и других нерудных материалов.

В 1996 г. М.Н. Кокоев впервые предложил и аналитически исследовал так называемый электростатический метод формирования изделий и сооружений из армированного бетона и его различные приложения.

Пионерной разработкой также безусловно является разработанная в тот же период технология возведения монолитных сооружений в несъемной опалубке из электростатического бетона. Это особенно важно и экономически целесообразно при создании из монолитного бетона сооружений сложной формы. Почти все упомянутые выше работы были впервые опубликованы в журнале «Бетон и железобетон».

Успешно совмещая работу в строительной отрасли с преподавательской и научно-исследовательской деятельностью, профессор кафедры строительного производства КБГУ М.Н. Кокоев подготовил более 180 различных научных публикаций, в том числе свыше ста статей, опубликованных практически во всех центральных научно-технических ваковских журналах и других академических изданиях, освещающих вопросы строительства. Выпущено 18 книг-монографий по различной тематике: путь к рыночной экономике, перспектива диверсификации источников энергии, процесс становления и развития строительной отрасли, архитектура и строительство XX в. и др.

Исследования М.Н. Кокоева защищены четырьмя патентами на изобретения.

М.Н. Кокоев является советником Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН), действительным членом Российской академии естественных наук (РАЕН) и Российской инженерной академии, членом диссертационных советов по защите докторских и кандидатских диссертаций по техническим наукам в Дагестанском техническом университете и Ростовском государственном техническом университете. Наряду с этими обязанностями он принимает активное участие в международных и всероссийских конференциях. Награжден дипломом Министерства образования и науки РФ.

За высокие достижения в научной и производственной деятельности в области строительства Михаил Нургалиевич Кокоев удостоен званий «Заслуженный строитель Российской Федерации», «Почетный строитель России», «Почетный строитель Росагропромстроя», «Почетный строитель АПК России», «Почетный строитель Юга и Северо-Кавказского региона». Награжден золотой медалью ВДНХ, орденом «За заслуги в строительстве» Союза строителей России.

Редакция и редакционный совет, коллеги сердечно поздравляют Мухамеда Нургалиевича Кокоева с 70-летием, желают крепкого здоровья, кавказского долголетия, больших успехов во всех начинаниях, благополучия и процветания.

М.Ш. САЛАМАНОВА^{1,2}, канд. техн. наук, доцент (madina_salamanova@mail.ru)

¹ Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М.Д. Миллионщикова (364021, г. Грозный, пр. Исаева, 100)

² Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук (364051, г. Грозный, Старопромысловское ш., 21)

Современные подходы к получению бесклинкерных вяжущих щелочной активации

Вопросы поиска новых менее энерго- и материалоемких вяжущих давно стоят на повестке многих мировых экологических форумов. Технология производства портландцемента неразрывно связана с выбросами в атмосферу большого количества CO₂, сажи, ионов тяжелых металлов, различных едких газов и прочих опасных веществ. По своей массе эти выбросы сопоставимы с весом производимого цемента, что делает данную сферу промышленности одним из самых больших источников выбросов парниковых газов. Это приводит к сильному загрязнению окружающей атмосферы и среды обитания, да и цена на цемент неоправданно растет. Поэтому щелочные цементы способны внести свою лепту в развитие строительной индустрии по направлению получения бесклинкерных вяжущих щелочной активации. В рамках настоящей работы получены результаты, подтверждающие эффективность развития бесклинкерной технологии получения вяжущих щелочного затворения и композитов на их основе с использованием алюмосиликатных добавок как природного, так и техногенного происхождения. Наполнение вяжущей системы щелочного затворения на основе термообработанной опоки минеральными тонкодисперсными порошками приводит к снижению концентрации активности связки, замедлению начала и конца схватывания, а потребность в щелочном растворе уменьшается.

Ключевые слова: бесклинкерные цементы, минеральные добавки, щелочной раствор, термоактивированная опока, вулканический туф, геополимеры, вяжущая связка.

Для цитирования: Саламанова М.Ш. Современные подходы к получению бесклинкерных вяжущих щелочной активации // *Строительные материалы*. 2021. № 9. С. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-48-53>

M.Sh. SALAMANOVA^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering), Docent (madina_salamanova@mail.ru)

¹ Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshikov (100, Avenue Isaev, Grozny, 364021, Russian Federation)

² Complex Research Institute named after Kh.I. Ibragimov, Russian Academy of Sciences (21, Staropromyslovskoe Highway, Grozny, 364051, Russian Federation)

Modern Approaches to Obtaining Clinker-Free Binders of Alkaline Activation

Issues related to the search for new less energy- and material-intensive binders have long been on the agenda of many world environmental forums. The technology of production of Portland cement is inextricably linked with the emissions into the atmosphere of a large amount of CO₂, soot, heavy metal ions, various caustic gases and other dangerous substances. By their weight, these emissions are comparable to the weight of cement produced, which makes this industry one of the largest sources of greenhouse gas emissions. This leads to severe pollution of the surrounding atmosphere and habitat, and the price of cement is unreasonably rising. Therefore, alkaline cements are able to contribute to the development of the construction industry in the direction of obtaining clinker-free binders of alkaline activation. Within the framework of this work, the results confirming the effectiveness of the development of a clinker-free technology for the production of alkali-mixing binders and composites based on them using aluminosilicate additives, both of natural and man-made origin, are obtained. Filling the binding system of alkaline mixing based on heat-treated gaize with mineral fine powders leads to a decrease in the concentration of the activity of the ligament, slowing down the beginning and end of setting, and the need for an alkaline solution decreases.

Keywords: clinker-free cements, mineral additives, alkaline solution, thermo-activated gaize, volcanic tuff, geopolymers, binder.

For citation: Salamanova M.Sh. Modern approaches to obtaining clinker-free binders of alkaline activation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 9, pp. 48–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-48-53>

Опыт многолетней эксплуатации конструкций из шлакощелочных бетонов подтвердил надежность и долговечность данных разработок и диктует возможность расширения области их применения как для дорожного, гидромелиоративного и сельскохозяйственного строительства, так и для изготовления конструктивных элементов зданий, работающих в различных условиях эксплуатации [1–10]. Установлено [11–22], что шлакощелочные бетоны обладают высокими прочностными характеристиками и отличаются улучшенными структурными и эксплуатационными параметрами, такими как более плотная структура, незначительная растворимость продуктов гидратации, малая пористость, что в комплексе повышает их водостойкость, водонепроницаемость и морозостойкость.

Все перечисленные качества подтверждают перспективность и актуальность развития бесклинкерного направления щелочных цементов в строительстве.

Для многих регионов Российской Федерации отходы топливно-энергетической промышленности являются дефицитным и ограниченным материалом, поэтому производство шлакощелочных цементов бессмысленно и неоправданно, но получение геополимеров с применением тонкодисперсных алюмосиликатных добавок техногенного или природного происхождения, активированных щелочным раствором, позволит создавать качественный и конкурентоспособный продукт [23–26].

Для приготовления бесклинкерного геополимерного вяжущего щелочной активации использовали



Рис. 1. Фрагмент опоковидного мергеля Харачоевского месторождения
Fig. 1. Fragment of opoka-like marl of the Kharachoevskoye deposit

опоковидный мергель Харачоевского месторождения (рис. 1). Энергодисперсионный микроанализ, выполненный с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 3D 200i, показал следующий оксидный состав, мас. %: MgO=1,1; Al₂O₃=5,47; SiO₂=28,7; Na₂O=1,09; CaO=61,53; Fe₂O₃=2,12.

После предварительного измельчения опоковидного мергеля в течение 20 мин в лабораторной вибрационной шаровой мельнице удельная поверхность составила 580 м²/кг. Высокая размолоспособность исследуемого материала обусловлена органо-химическим оолитовым генезисом минералов в виде агрегатов сферических или эллипсоидальных оолитов кальцита, небольшого количества кварца и доломита, сцементированных скрытокристаллическим карбонатным веществом.

В естественном виде после тонкого измельчения порошок опоковидного мергеля при затворении раствором жидкого натриевого стекла (силикатный мо-

дуль 2,8 и плотность 1,42 г/см³) не проявлял вяжущие свойства и процесс твердения происходил только в присутствии кремнефтористого натрия (6%). Поэтому на следующем этапе работы опоку в порошкообразном виде подвергают обжигу в муфельной печи при температуре 700°C; термообработка способствует получению фаз переменного состава, представленных на дифрактограмме рис. 2.

По результатам рентгенофазового анализа в образцах порошка термоактивированной опоки присутствуют яркие фазы кальцита и менее яркие

кварца; в очень небольшом количестве полевые шпаты, вероятнее всего плагиоклазы, на ~9° пик примерно соответствует слюдам-гидрослюдам. Есть несколько размытых рефлексов, сходных с рефлексами силикатов и оксидов кальция (яркий пик накладывается на одну из линий ларнита, вторая, неяркая, совпадает с галоподобным участком, возможно, связанным с присутствием слабокристаллизованных или гидратированных предполагаемых силикатов кальция); также в районе 18° есть небольшое гало, которое можно идентифицировать как фазу портландита.

По методике определения обменной емкости по отношению к ионам кальция с целью выявления брэнстедовских активных центров кристаллизации на поверхности минерального порошка установлена высокая поверхностная концентрация ионообменных центров термоактивированной опоки – 42 мг-экв/г. Полученный тонкодисперсный порошок из опоки после помола внешне имеет серый цвет, а порошок

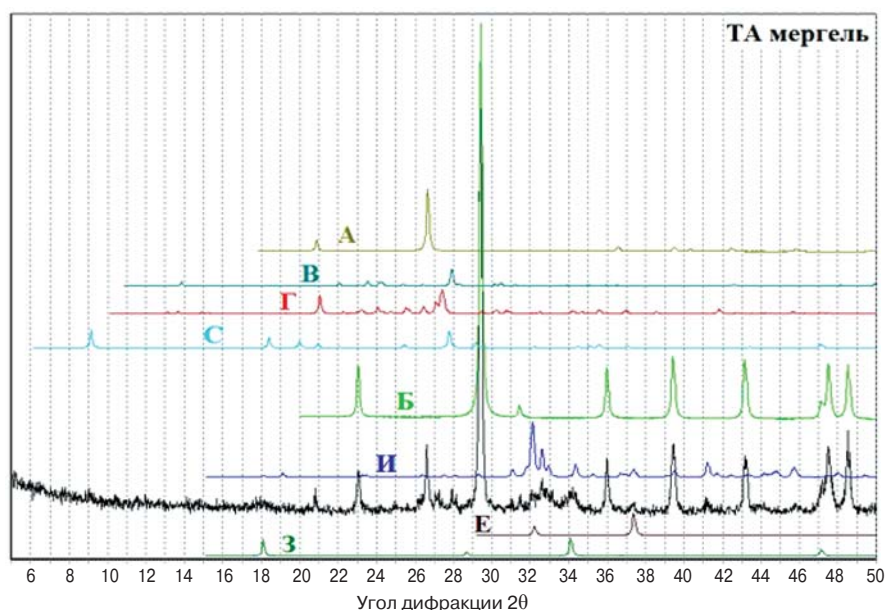


Рис. 2. Дифрактограмма образца термоактивированного мергеля 700°C. Приведенные фазы сравнения: А – кварц; Б – кальцит; В – альбит; С – парагонит; З – портландит; Е – оксид кальция; И – ларнит; Г – микроклин/ортоклаз

Fig. 2. Diffraction pattern of a sample of thermally activated marl 700°C. The given comparison phases: А – quartz; Б – calcite; В – albite; С – paragonite; З – portlandite; Е – calcium oxide; И – larnite; Г – microcline/orthoclase



Рис. 3. Внешний вид минеральных порошков: а – опоковидный мергель; б – термоактивированный опоковидный мергель

Fig. 3. Appearance of mineral powders: а – opoka marl; б – thermally activated opoka marl

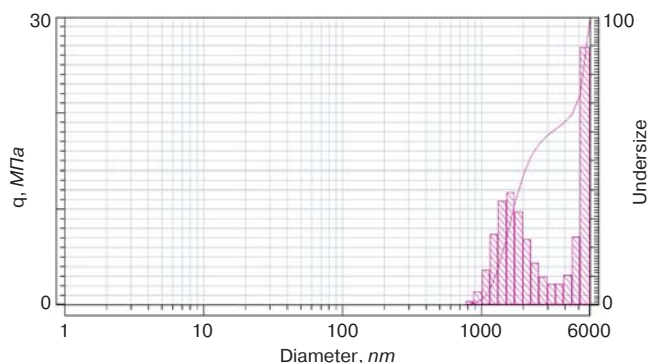


Рис. 4. График распределения частиц мергеля по размерам
Fig. 4. Marl particle size distribution graph

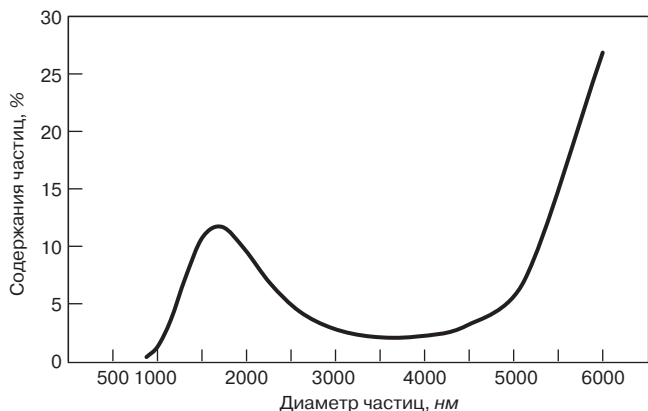


Рис. 5. График зависимости размера частиц от их процентного содержания в единице объема
Fig. 5. Plot of particle size versus their percentage per unit volume

после термообработки приобретает светло-коричневый оттенок (рис. 3). Исследование размера и формы частиц добавки было выполнено на растровом электронном микроскопе QUANTA 3D 200i с помощью детектора Эверхарта–Торнли (ЭТД) сцинтилляторного типа с фотоумножителем, воспринимающим вторичные (SE) и обратно-рассеянные электроны (BSE), возбуждаемые первичным пучком при его взаимодействии с образцом. Обработка спектров производилась программным обеспечением EDAX TEAM EDS.

Анализ показал множество мелких частиц и их агрегатов, которые имеют в основном рваные, плохо обозначенные границы. Обнаружены отдельные участки твердой фазы, состоящие из частиц различных форм, где форму и размерность частиц трудно определить. Распределение подобных частиц по раз-

мерам определяли на анализаторе субмикронных частиц Horiba (Япония) методом динамического рассеяния света. Принцип действия анализаторов основан на регистрации под разными углами оптического излучения, рассеянного частицами в кювете. В полимерную ампулу с крышкой объемом 50 мл внесли 0,5 г измельченного мергеля. Далее в эту ампулу добавляли дистиллированную воду, получая суспензию с концентрацией мергеля 1%. Полученную суспензию встряхивали в течение 2 мин и определяли размеры частиц на приборе Horiba. График распределения частиц по размерам показан на рис. 4.

После обработки сигнала производится расчет спектра частотного распределения, позволяющего произвести определение размеров частиц и функции распределения частиц по размерам анализируемого образца. Содержание частиц в процентах показано на рис. 5.

Результаты дисперсионного состава показали, что измельченный мергель, подвергнутый термической обработке, имеет размеры частиц следующего диапазона: 1 мкм=0,3%; 2 мкм=9,7%; 3 мкм=2,8%; 4 мкм=2,1%; 5 мкм=7,1%; 6 мкм=26%.

Исследование реакционного порошка методом электронной микроскопии показало, что гранулометрия достаточна обширна, зерна термоактивированной при 700°C опоки являются продуктом механической активации и частицы более дисперсные; средний размер составил 13–23 мкм, при этом 30% пробы имеет размер 1–6 мкм.

Термоактивация опоки благоприятно сказывается на морфологии материала; проведенные ранее исследования подтверждают образование кварца, плагиоклаза, гидрослюд, силикатов кальция типа ларнита β -2CaO·SiO₂ и окиси кальция. Сроки схватывания короткие: начало – 26 мин; конец – 32 мин при удельной поверхности термообработанного порошка $S_{уд}=526 \text{ м}^2/\text{кг}$, поэтому в дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть все возможные варианты по увеличению периода схватывания.

Установлена реакционная способность термоактивированной опоки в комплексе с щелочным раствором, но для подтверждения эффективности используемого технологического приема – термообработки необходимо проведение более глубокого исследования с этим материалом; в табл. 1 приводятся результаты испытаний.

Таблица 1
Table 1

Свойства вяжущих систем на опоквидном мергеле
Properties of binding systems on opoka-like marl

Показатели качества	Термоактивированная опока (700°C) $S_{уд}=526 \text{ м}^2/\text{кг}$		Опока $S_{уд}=526 \text{ м}^2/\text{кг}$	
	Вид затворителя			
	Na ₂ SiO ₃	H ₂ O	Na ₂ SiO ₃	Na ₂ SiO ₃ +Na ₂ SiF ₆
Нормальная плотность щелочного цементного теста, %	56,5	40	52,5	52
Сроки схватывания, начало/конец, ч–мин	00–26/00–32	01–37/06–29	Схватывание не нормируется	00–55/01–47
Активность, МПа через 28 сут	19,4	5,3	–	6,5

Таблица 2

Table 2

Рецептуры и свойства вяжущих систем «термоактивированная опока 700°C – минеральный порошок – Na₂SiO₃»
Formulations and properties of binding systems «Thermally activated flask 700°C – mineral powder – Na₂SiO₃»

№ состава	Минеральный порошок, 20%	S _{уд} , м ² /кг	НГ ЦТ, %	Сроки схватывания, ч–мин
1	Кварцевый песок	325	48	01–12/02–06
2	Вулканический туф	350	56,8	00–47/01–49
3	Мергель	476	52,8	00–45/01–46

Полученные данные подтверждают эффективность данного бесклинкерного вяжущего щелочной активации, а схватывание термоактивированной опоки при затворении водой дает возможность использовать водный раствор жидкого натриевого стекла или в перспективе получить альтернативу этому виду щелочного раствора. А если учитывать, что термоактивированный мергель также будет участвовать в реакциях взаимодействия с щелочным раствором, то можно ожидать весомых результатов и получать прочные и долговечные строительные композиты.

Введение в вяжущую систему минеральных порошков в количестве 20 и 15% клинкерной пыли позволяет варьировать свойствами щелочного цементного теста. Потребность в щелочном растворе и сроки схватывания композиции изменяются в зависимости увеличения количества добавки, но химико-минералогический состав их имеет определенное значение (табл. 2).

Химический и минералогический составы минеральных порошков играют свою роль в процессах схватывания и твердения вяжущих связей. Кварцевый порошок, содержащий повышенное количество кварца, трудно вступает в реакцию с щелочным раствором, поэтому эта добавка максимально замедляет схватывание системы.

Минеральные порошки, имеющие некоторую долю алюмосиликатной составляющей, лучше проявляют вяжущие свойства. Опока в естественном виде и вулканический туф считаются наиболее перспективными добавками для улучшения свойств це-

ментного теста, но безусловно решающим фактором для оценки эффективности исследуемых систем будет активность вяжущих многокомпонентных связей. Наполнение вяжущей системы щелочного затворения на основе термообработанной опоки минеральными тонкодисперсными порошками приводит к снижению концентрации активности связки, замедлению начала и конца схватывания; потребность в щелочном растворе уменьшается.

Для исследования многокомпонентных наполненных вяжущих связей «термоактивированная опока – минеральный порошок – Na₂SiO₃» изготавливались образцы-балочки размером 2×2×10 см согласно рецептурам, указанным в табл. 2. В качестве мелкого заполнителя использовался монофракционный вольский песок с модулем крупности 2,5. Образцы после распалубки подвергались тепловому воздействию в течение первых трех суток при температуре 50–60°C в сушильном шкафу, далее твердели в нормально-влажностных условиях. Содержание добавки минеральных порошков в данных композициях составило 20%, клинкерная пыль добавлялась во все вяжущие связки в количестве 15%.

На рис. 6 представлена кинетика набора прочности многокомпонентных систем «термоактивированный мергель – минеральный порошок – Na₂SiO₃». Анализ полученных данных позволил заключить, что образцы характеризуются замедленным приростом прочности первые 21 сут. Этот факт можно объяснить присутствием ларнита β-CaO·SiO₂ в минералогическом составе термоактивированного при 700°C мергеля, которому свойственна более поздняя растворимость.

Вяжущая связка щелочной активации с использованием до 20% опоки или вулканического туфа показала лучший результат по прочности; алюмосиликатная природа данных добавок оказывает благоприятное влияние на формирование структуры цементного камня: активность вяжущих связей составила 31,7–33,2 МПа.

Заключение

В ходе проведения работы предложены новые подходы к получению бесклинкерных вяжущих щелочной активации на основе использования алюмосиликатных добавок как природного, так и техногенного происхождения. Проведенные исследования подтвердили целесообразность использования этих минеральных добавок. Регулируя количественное соотношение и общую поверхность тонкодисперсных добавок алюмосиликатной природы, можно по-

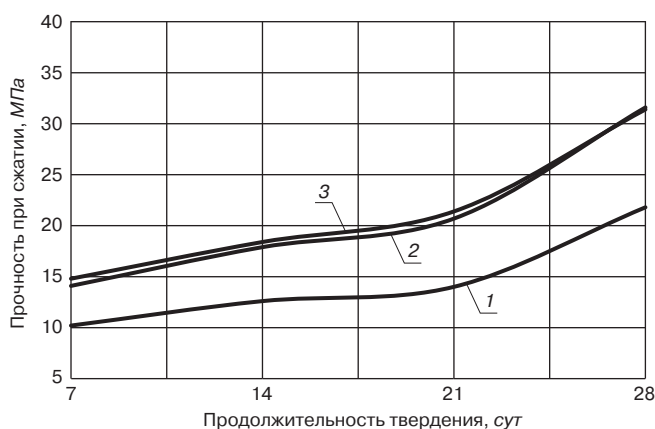


Рис. 6. Зависимость прочности многокомпонентных систем «термоактивированная опока – минеральный порошок – Na₂SiO₃» от продолжительности твердения: 1 – кварцевый песок; 2 – туф; 3 – мергель

Fig. 6. Dependence of the strength of multicomponent systems «Thermally activated flask – mineral powder – Na₂SiO₃» on the duration of hardening: 1 – quartz sand; 2 – tuff; 3 – marl

лучать качественный долговечный материал с новым уровнем технологических и эксплуатационных характеристик.

Список литературы / References

1. Щелочные и щелочно-земельные гидравлические вяжущие и бетоны / Под ред. В.Д. Глуховского. Киев: Вища школа, 1979. 232 с.
1. Shchelochnye i shchelochnozemel'nye gidravlicheskie vyazhushchie i betony. Pod redaktsiyey V.D. Glukhovskogo [Alkaline and alkaline earth hydraulic binders and concrete]. Kiev: Vishcha shkola. 1979. 232 p.
2. Глуховский В.Д., Пахомов В.А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев: Будивельник. 1978. 184 с.
2. Glukhovskiy V.D., Pakhomov V.A. Shlakoshchelochnye tsementy i betony [Slag-alkali cements and concretes]. Kiev: Budivel'nik. 1978. 184 p.
3. Кривенко П.В., Пушкарева К.К. Долговечность шлакощелочного бетона. Киев: Будивельник, 1993. 224 с.
3. Krivenko P.V., Pushkareva K.K. Dolgovechnost' shlakoshchelochnogo betona. [Durability of slagalkali concrete]. Kiev: Budivel'nik. 1993. 224 p.
4. Davidovits J. Geopolymer Chemistry and applications. Saint-Quentin: Institute Geopolymer. 2008. 592 p.
5. Duxson P., Fernández-Jiménez A., Provis J., Lukey G., Palomo A., Van Deventer J. Geopolymer technology: the current state of the art. *Journal of Materials Science*. 2007. Vol. 42, pp. 2917–2933. DOI: 10.1007/s10853-006-0637
6. Bataev D.K-S., Murtazaev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh. Fine-grained concretes on non-clinker binders with highly disperse mineral components. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931, pp. 552–557. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.931.552>
7. Саламанова М.Ш., Муртазаев С.-А.Ю. Цементы щелочной активации: возможность снижения энергоемкости получения строительных композитов // *Строительные материалы*. 2019. № 7. С. 32–40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-772-7-32-40>
7. Salamanova M.Sh., Murtazaev S.-A.Yu. Cements of alkaline activation the possibility of reducing the energy intensity of building composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 7, pp. 32–40. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-772-7-32-40>
8. Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш. Перспективы использования термоактивированного сырья алюмосиликатной природы // *Приволжский научный журнал*. 2018. Т. 46. № 2. С. 65–70.
8. Murtazayev S.-A.Yu., Salamanova M.Sh. Prospects of the use of thermoactivated raw material of aluminosilicate nature. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2018. Vol. 46. No. 2, pp. 65–70. (In Russian).
9. Никифоров Е.А., Логанина В.И., Симонов Е.Е. Влияние щелочной активации на структуру и свойства диатомита // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2011. № 2. С. 30–32.
9. Nikiforov E.A., Loganina V.I., Simonov E.E. The effect of alkaline activation on the structure and properties of diatomite. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2011. No. 2, pp. 65–70. (In Russian).
10. Nesvetaev G., Koryanova Y., Zhilnikova T. On effect of superplasticizers and mineral additives on shrinkage of hardened cement paste and concrete. *MATEC Web of Conferences*. 27th Russian-Polish-Slovak Seminar, theoretical foundation of civil engineering (27RSP), TFOCE. Rostov-on-Don. 17–21 September 2018. 04018.
11. Stelmakh S.A., Nazhnev M.P., Shcherban E.M., Yanovskaya A.V., Cherpakov A.V. Selection of the composition for centrifuged concrete, types of centrifuges and compaction modes of concrete mixtures. *Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications (PHENMA 2018)*. Abstracts&Schedule. Busan, Republic of Korea. 9–11 August 2018, p. 337.
12. Shuisky A., Stelmakh S., Shcherban E., Torlina E. Recipe-technological aspects of improving the properties of non-autoclaved aerated concrete. *MATEC Web Conference*. Vol. 129. *International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017)*. 2017. 05011. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712905011>
13. Солдатов А.А., Сариев И.В., Жаров М.А., Абдураимова М.А. Строительные материалы на основе жидкого стекла. *Актуальные проблемы строительства, транспорта, машиностроения и техносферной безопасности: Материалы IV Ежегодной научно-практической конференции Северо-Кавказского федерального университета*. Ставрополь, 2016. С. 192–195.
13. Soldatov A.A., Sariev I.V., Zharov M.A., Abduraimova M.A. Building materials based on liquid glass. *Actual problems of construction, transport, mechanical engineering and technosphere safety: Materials of the IV annual scientific and practical conference of the North Caucasus Federal University*. Stavropol. 2016, pp. 192–195. (In Russian).
14. Martschuk V., Stark T. Untersuchungen zurn frosttausalz-widerstaud von mochleistungsbetonen. *Thesis: Wiss. Z. Bauhaus-Univ. Weimar*. 1998. Vol. 44. No. 1–2, pp. 92–103.
15. Larbi J.A., Bijen J.M. Effect of water-cement ratio, quantity and fineness of sand on the evolution of lime in set Portland cement systems. *Cement and Concrete Research*. 1990. Vol. 20. No. 5, pp. 783–794.
16. Саламанова М.Ш., Алиев С.А., Муртазаева Р.С.-А. Структура и свойства вяжущих щелочной активации с использованием цементной пыли // *Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки*. 2019. Т. 46. № 2. С. 148–158.
16. Salamanova M.Sh., Aliyev S.A., Murtazayev R. S.-A. The structure and properties of binders alkaline activation using cement dust. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2019. Vol. 46. No. 2, pp. 148–158. (In Russian).

17. Kozhukhova N.I., Chizhov R.V., Zhernovsky I.V., Strokova V.V. Structure formation of geopolymer perlite binder vs. Type of alkali activating agent. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2016. Vol. 11. Iss. 20, pp. 12275–12281.
18. Удодов С.А., Гиш М.Р. Влияние дозировки реди-спергируемого порошка на локализацию полимера и деформационные свойства раствора // *Научные труды Кубанского государственного технологического университета*. 2015. № 9. С. 164–174.
19. Udodov S.A., Gish M.R. The effect of dosage of redispersible powder on the localization of the polymer and the deformation properties of the solution. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. No. 9, pp. 164–174. (In Russian).
20. Murtazayev S.-A. Yu., Salamanova M.Sh., Ismailova Z.Kh. The Use of highly active additives for the production of clinkerless binders. *Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2018)*. <https://doi.org/10.2991/isees-18.2018.68>
21. Salamanova M.Sh., Murtazayev S. Yu. Clinker-free binders based on finely dispersed mineral components. *20 Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht. 12–14 September 2018, Bauhaus-Universität Weimar. Band 1 und 2. Weimar: 2018. B. 2, pp. 707–714.*
22. Zhang Z., Provis J.L., Zou J., Reid A., Wang H. Toward an indexing approach to evaluate fly ashes for geopolymer manufacture. *Cement and Concrete Research*. 2016. Vol. 85, pp. 163–173. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2016.04.007>
23. Alex T.C., Nath S.K., Kumar S., Kalinkin A.M., Gurevich B.I., Kalinkina E.V., Tyukavkina V.V. Utilization of zinc slag through geopolymerization: influence of milling atmosphere. *International Journal of Mineral Processing*. 2013. Vol. 216, pp. 102–107.
24. Lopez F.J., Sugita S., Tagaya M., Kobayashi T. Metakaolin-based geopolymers for targeted adsorbents to heavy metal ion separation. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2014. No. 2, pp. 16–27.
25. Chen L., Wang Z., Wang Y. and Feng J. Preparation and properties of alkali activated metakaolin-based geopolymer. *Materials (Basel)*. 2016. Vol. 9, pp. 767. DOI: 10.3390/ma9090767
26. Murtazayev S.-A. Yu., Salamanova M.Sh., Alashanov A., Ismailova Z. Features of production of fine concretes based on clinkerless binders of alkaline mixing. *14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM 2019) Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 23–27 September 2019. Belgorod: 2019. pp. 385–388.*
27. Murtazayev S.-A. Yu., Salamanova M.Sh., Mintsayev M.Sh., Bisultanov R.G. Fine-grained concretes with clinker-free binders on an alkali gauging. *Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019). Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST)*. 2019. Vol. 1, pp. 325–328. <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.98>

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Книга «Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента»

Авторы – Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Голованова С.П.

В книге представлены теоретические основы белизны и окрашивания керамических строительных материалов и белого портландцемента (БПЦ) с позиции теории цветности силикатных материалов в зависимости от их фазово-минерального состава, структуры, содержания хромофоров Fe, Mn и Ti, условий обжига и охлаждения (окислительных или восстановительных).

Установлены закономерности зависимости белизны, цвета и особенности окрашивания как пигментов, так и твердых растворов бесцветных фаз ионами-хромофорами от структуры, изовалентного или гетеровалентного изоморфизма, образования окрашивающих кластеров. Разработаны эффективные способы управления белизной и декоративными свойствами строительных керамических материалов (фарфора, фаянса, облицовочной плитки, кирпича) и белого портландцемента.

**Книга «Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий»**

Авторы – Балакшин Ю.З., Терехов В.А.

Описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Даны характеристики сырьевым материалам – песку, щебню, вяжущим и химическим добавкам и рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.



Тел.: (499) 976-22-08, 976-20-36

E-mail: mail@rifsm.ru

М.В. ГРАВИТ¹, канд. техн. наук (gravit_mv@spbstu.ru),
Ю.Г. ЛАЗАРЕВ¹, д-р техн. наук (lazarev_yug@spbstu.ru);
Е.С. ВАСЮТКИН², генеральный директор (komposite-grupp@yandex.ru);
А.В. МАЛЬЧЕВА¹, студентка (malcheva.a@edu.spbstu.ru),
М.А. СЕМЕНОВ¹, студент (semenov2.ma@edu.spbstu.ru)

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29)

² ООО «Композитные технологии и оснастка» (143983, Московская обл., г. Балашиха, ул. Керамическая, д. 2А, к. 513)

Пожарная опасность композитных материалов

Наиболее перспективная отрасль применения композитных материалов строительная, а именно их использование в качестве несущих и ограждающих конструкций, когда они заменяют традиционные сталь и железобетон, а также древесину, главным недостатком которой является повышенная пожарная опасность. Современное производство полимерных композитных материалов (ПКМ) позволяет изготовить элементы различных размеров, сечений и структуры. В представленной работе обоснована актуальность применения композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов) в строительстве. Рассмотрены преимущества и недостатки композитных материалов в сравнении с традиционными материалами, а также проанализированы публикации, отражающие особенности создания конструкций из полимерных композиционных материалов с точки зрения обеспечения требуемого уровня их пожаробезопасности. На примере композитного изгибаемого средства огнезащиты, содержащего полимерную матрицу на стекловолокне, получены экспериментальные данные по пожарно-техническим характеристикам. Установлено, что большинство композитов имеет следующие показатели пожарно-технических характеристик согласно российской классификации: слабо- и умеренногорючие, трудно- и умеренновоспламеняемые; дымообразование – с умеренной дымообразующей способностью, токсичность – мало- и умеренно опасные.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, композиты, полимеры, показатели пожарной опасности, горючесть, воспламеняемость, огнестойкость.

Для цитирования: Гравит М.В., Лазарев Ю.Г., Васюткин Е.С., Мальчева А.В., Семенов М.А. Пожарная опасность композитных материалов // *Строительные материалы*. 2021. № 9. С. 54–63. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-54-63>

M.V. GRAVIT¹, Candidate of Sciences (Engineering) (gravit_mv@spbstu.ru), Yu.G. LAZAREV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (lazarev_yug@spbstu.ru); E.S. VASYUTKIN², General Director (komposite-grupp@yandex.ru); A.V. MALCHEVA¹, Student (malcheva.a@edu.spbstu.ru), M.A. SEMENOV¹, Student (semenov2.ma@edu.spbstu.ru)

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (29, Polytechnicheskaya Street, St. Petersburg, 195251, Russian Federation)

² Composite Technologies and Equipment LLC (513, room, 2A, Keramicheskaya Street, Balashikha, 143983, Moscow Region, Russian Federation)

Fire Hazard of Composite Materials

The most promising field of application of composite materials is construction, namely, their use as load-bearing and enclosing structures, thereby replacing traditional steel and reinforced concrete, as well as wood, the main disadvantage of which is an increased fire hazard. Modern production of polymer composite materials (PCM) makes it possible to produce elements of various sizes, sections and structures. In the presented work, the relevance of the use of composite materials with a polymer matrix (composites) in construction is justified. The advantages and disadvantages of polymeric materials in comparison with traditional materials are considered, as well as publications reflecting the features of creating structures from polymeric composite materials from the point of view of ensuring the required level of their fire safety are analyzed. On the example of a composite bendable fire protection means containing a polymer matrix on fiberglass, experimental data on fire-technical characteristics were obtained. It is established that most of composites have the following indicators of fire-technical characteristics according to the Russian classification: weak and moderately flammable, hardly and moderately flammable: smoke generation coefficient, toxicity-low and moderate hazardous.

Keywords: polymer composite material, composites, polymers, fire hazard indicators, combustibility, inflammability, fire resistance.

For citation: Gravit M.V., Lazarev Yu.G., Vasyutkin E.S., Malcheva A.V., Semenov M.A. Fire hazard of composite materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 9, pp. 54–63. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-795-9-54-63>

Полимерные композиционные материалы, композиты (ПКМ) — материалы, состоящие из двух и более компонентов, как правило, из полимерной основы, наполнителей и специальных добавок. Изменяя состав и соотношение полимерной основы и наполнителя, производят широкую вариацию материалов с требуемым набором свойств. Благодаря своим физико-механическим свойствам многие ПКМ превосходят традиционные материалы и сплавы [1–5]. Использование композитов позволяет уменьшить массу всей конструкции при сохранении ее механических характеристик [1, 6–9].

Объем мирового рынка использования композитных материалов составляет порядка 12 млн т/г. и в ближайшее время, по прогнозам специалистов, их доля в мировом ВВП увеличится в десять и более раз. В России объем производства композитов находится на очень низком уровне, порядка 0,5% от мирового объема, что объясняется различными факторами, в том числе дороговизной качественных полимерных связующих [3].

Наиболее перспективная отрасль применения композитов строительная, а именно использование ПКМ в качестве несущих и ограждающих конструк-

ций, заменяющих традиционную сталь и железобетон, а также древесину, главным недостатком которой является повышенная пожарная опасность [10]. Современное производство ПКМ позволяет изготовить элементы различных размеров, сечений и структуры. Возможно получить несущие колонны таврового, двутаврового, прямоугольного, круглого и практически любого другого профиля. Публикуются исследования, где описывается использование стеклопластиковых и базальтопластиковых стержней в конструкциях вместо стальной арматуры, с обеспечением усиления железобетонных конструкций с недостаточной несущей способностью [11].

В последние пять лет исследования композитных материалов набирают большие темпы, производство увеличивается и находится все больше и больше аспектов применения данных материалов, что связано с определенными преимуществами композитов перед другими строительными материалами.

В первую очередь главным достоинством композита является его прочность при растяжении. Согласно ГОСТ 31938–2012 «Арматура композитная для армирования бетонных конструкций», табл. 4, предел прочности композитной арматуры (приводятся крайние значения для стекловолокна и углепластика) имеет следующие параметры: при растяжении – 800–1400 МПа; при сжатии – 300 МПа (для всех видов); при поперечном срезе – 150–350 МПа, в то время как расчетное сопротивление стали по СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» составляет 230–670 МПа.

При расчете конструкции подбирается минимальное сечение элемента. Композитные материалы имеют небольшую плотность – 2 т/м^3 , а именно в четыре раза меньше веса стального проката ($7,8 \text{ т/м}^3$); таким образом, получают достаточно высокие значения прочности при невысокой плотности. Тем не менее для конечных строительных конструкций (изделий), таких как плиты, колонны и др., необходимо выполнять точный прочностной расчет с конкретными видами арматуры и ее характеристиками, поскольку преимущество компо-

зитной арматуры перед стальной очевидно только в случае использования ее в средах с повышенной химической агрессивностью.

Важным преимуществом композитов является низкая теплопроводность ($0,35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, стеклопластиковая арматура), которая близка к теплопроводности древесины ($0,30\text{--}0,37 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, данные для древесины дуба вдоль волокон), в связи с чем композиты могут иметь широкое применение в изготовлении ограждающих конструкций (рис. 1).

Другими преимуществами композитов являются: высокая коррозионно-стойкость, радиопрозрачность и магнитоинертность; жизненный цикл изделий многие производители декларируют сроком не менее ста лет.

Применение композитных материалов приводит к удорожанию строительных проектов, что в перспективе компенсируется снижением эксплуатационных расходов на протяжении всего жизненного цикла объекта. По предварительным оценкам, через пять лет эксплуатации зданий и сооружений первоначальные затраты должны окупиться, а через двадцать лет экономический эффект может составить двукратную стоимость возведения конструкций [12].

Пожарно-технические характеристики ПКМ

Несмотря на преимущества композитов, существует ряд проблем, который замедляет применение ПКМ в промышленном и гражданском строительстве.

Полимерные композиты – пожароопасные материалы, пожарно-технические характеристики которых обусловлены свойствами полимерного связующего. Возможны два способа повышения стойкости композитов к термическому воздействию.

Первый способ – разработка полимерных материалов пониженной горючести за счет применения замедлителей горения (антипиренов). Главный недостаток данного способа заключается в том, что снижение горючести полимерных композитов не приводит к обеспечению требуемых показателей пожарной безопасности конструкций из них, главным из кото-

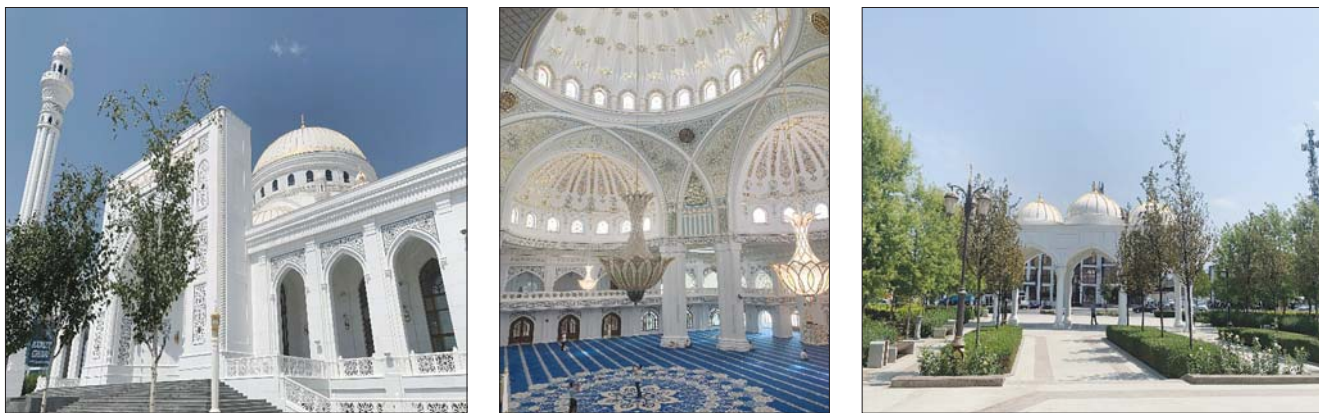


Рис. 1. Купола мечети в г. Шали, Чеченская Республика (фото М.В. Гравит; производство конструкций – ООО «Композитные Технологии и Оснастка») Fig. 1. Domes of a mosque in the Shali city, Chechen Republic (photo by M.V. Gravit; production of structures – LLC «Composite Technologies and Equipment»)

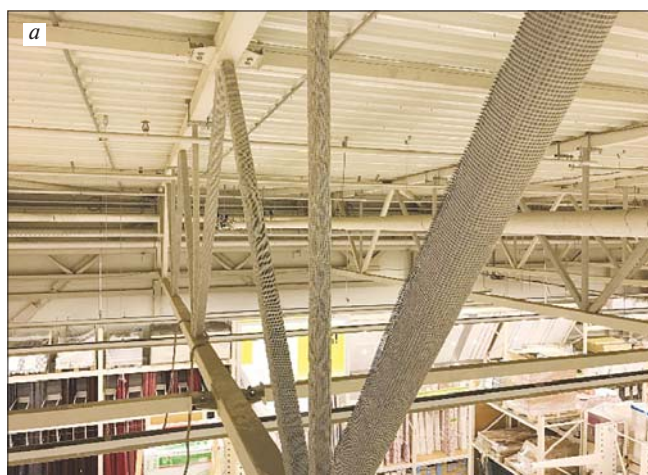


Рис. 2. Огнезащитная сетка на конструкциях ферм (а) и образцы сетки после испытания на горючесть (b)
 Fig. 2. Fire retardant mesh on truss structures (a) and mesh samples after the flammability test (b)

Таблица 1
 Table 1

Результаты испытания на горючесть огнезащитной сетки
 Results of tests for flammability of fire retardant mesh

Номер опыта	Температура дымовых газов, °С	Время самостоятельного горения, с	Длина повреждения образцов, %				Степень повреждения образцов по длине	Масса образцов, г (средняя арифметическая величина)		Степень повреждения образцов, мас. %
			1	2	3	4		до опыта	после опыта	
1	97	0	5	6	6	5	6	140	115	18
2	102	0	4	4	5	4	4	142,5	115	19
3	100	0	5	5	4	6	5	145	117,5	19



Рис. 3. Испытания на воспламеняемость (а); образец после испытания (b)
 Fig. 3. Flammability tests (a); Sample after test (b)



Таблица 2
 Table 2

Результаты испытания на воспламеняемость
 Flammability test results

№ опыта	ППТП, кВт/м ²	Время до воспламенения, с	КППТП, кВт/м ²	Дополнительные наблюдения
1	30±1,95	69±0,01	25	Потемнение, спекание образца
2	20±1,95	Отсутствует		Потемнение, спекание образца
3	25±1,95	98±0,01		Потемнение, спекание образца
4	25±1,95	105±0,01		Потемнение, спекание образца
5	25±1,95	108±0,01		Потемнение, спекание образца
6	20±1,95	Отсутствует		Потемнение, спекание образца
7	20±1,95	Отсутствует		Потемнение, спекание образца

рых является огнестойкость. Также снижение горючести, как правило, сопровождается снижением физико-механических характеристик материалов.

Второй способ – использование огнезащитных покрытий или конструктивной огнезащиты.

Класс пожарной опасности конструкций из ПКМ – один из основных показателей, который отражает степень участия ПКМ в развитии пожара. Класс пожарной опасности должен оцениваться по ГОСТ 30403–96 «Конструкции строительные. Метод

определения пожарной опасности», но указанные испытания для конструкций из композитов, как и эксперименты по оценке их огнестойкости, в настоящее время не осуществлялись в связи с дороговизной таких экспериментов, что препятствует их использованию в строительной сфере.

Моделирование позволит прогнозировать динамику прогрева конструкции при различных режимах горения и в результате сократить количество дорогостоящих экспериментальных исследований.

С использованием программных комплексов проведена большая серия расчетов температурных полей в типовых строительных конструкциях при стандартном температурном режиме пожара при наличии и отсутствии огнезащиты [13]. Учитывались все основные процессы, происходящие в рассматриваемых конструкционных и других огнезащитных материалах при высокотемпературном воздействии [14–17]. Расчеты проводились для типичных

представителей каждого из видов современных средств огнезащиты, которые применяются в настоящее время для строительных конструкций из стали, железобетона и древесины. В перспективе подобные материалы могут использоваться для конструкций из ПКМ.

Из известных программ расчета конструкций с использованием ПКМ следует отметить пакет ПК SCAD, с помощью которого авторы [18] предлагают производить расчет железобетонной плиты, усиленной углеродными лентами, применяя идею перенапряжения конструкций. Учитывается совместная работа плиты с углеродной лентой [19, 20], сопровождающаяся изменением расчетной схемы конструкции.

В статье [21] приведены результаты испытаний образцов из стеклопластика на основе эпоксидного связующего, проведенных по ГОСТ 12.1.044–89 «Система стандартов безопасности труда. Пожаро-

Таблица 3
Table 3

Результаты экспериментального определения коэффициента дымообразования
The results of the experimental determination of the smoke production coefficient

Режим испытания	Номер образца	Масса образца, г	Светопропускание		Коэффициент дымообразования, м ² /кг
			Начальное, % (лк)	Конечное, % (лк)	
Тление	1	0,87±0,01	100(1090±8%)	61(662±8%)	364
	2	0,90±0,01	100(1090±8%)	75(805±8%)	204
	3	0,89±0,01	100(1090±8%)	63(683±8%)	324
	4	0,87±0,01	100(1090±8%)	61(650±8%)	353
	5	0,87±0,01	100(1090±8%)	73(774±8%)	231
Среднее значение в режиме тления $Dm_{ср}=295 \text{ м}^2/\text{кг}$.					
Горение	1	0,98±0,01	100(1150±8%)	71(761±8%)	223
	2	0,98±0,01	100(1100±8%)	67(703±8%)	255
	3	0,93±0,01	100(1130±8%)	70(760±8%)	240
	4	0,96±0,01	100(1170±8%)	70(737±8%)	237
	5	0,91±0,01	100(1140±8%)	77(751±8%)	235
Среднее значение в режиме горения $Dm_{ср}=238 \text{ м}^2/\text{кг}$.					

Таблица 4
Table 4

Результаты экспериментального определения показателя токсичности
The results of the experimental determination of the toxicity indicator

Номер опыта	Температура испытания, °С	Время разложения (горения) образца, мин	Потеря массы, г	Продолжительность экспозиции животных, мин	Массовая доля летучих веществ			Параметры токсичности	
					СО, %	СО ₂ , %	О ₂ , %	Показатель токсичности НСL50, г/м ³	Массовая доля карбоксигемоглобина, %
1	750	30±0,0002	1,81	30±0,0002	0,19±0,05	0,41±0,5	18,4±0,1	114,1±5,7	59,6±1,1
2	450	30±0,0002	1,63		0,22±0,05	0,85±0,5	18,5±0,1		
3	450	30±0,0002	1,98		0,31±0,05	1,28±0,5	18,5±0,1		
4		30±0,0002	2,18		0,43±0,05	1,52±0,5	18,3±0,1		
5		30±0,0002	4,48		0,71±0,05	2,08±0,5	17,9±0,1		

взрывоопасность веществ и материалов» и по ГОСТ 30402–96 «Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость». Показано, что при относительно небольшой толщине вспучивающегося покрытия СГК-2 (порядка 0,5 мм) достигается существенное улучшение свойств по сравнению с вариантом без огнезащиты. Удалось обеспечить следующие группы показателей: В1 вместо В2; Г1 вместо Г2; Д2 и Т2; медленное распространение пламени вместо быстрого распространения пламени. Таким образом, во многих случаях применение вспучивающихся огнезащитных покрытий является реальной альтернативой традиционным способам.

Результаты испытаний композитного огнезащитного материала на пожарно-технические характеристики и данные на некоторые изделия из ПКМ представлены на рис. 2, 3 и в табл. 1–4. Информация по таким испытаниям частично освещается в немногочисленных работах. К ним относятся [17, 22–28], а в [27–33] производится оценка стойкости при пожаре при отсутствии или наличии огнезащиты с целью определения огнестойкости и класса пожарной опасности.

Методы и материалы

В соответствии с требованиями по пожарной безопасности, указанными в 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», для горючих строительных материалов, какими и являются ПКМ, регламентируются требования по группам горючести, воспламеняемости, распространения пламени, дымообразующей способности, токсичности продуктов термического разложения. К строительным конструкциям, выполненным из композитов, предъявляются требования по огнестойкости и классу конструктивной пожарной опасности.

Рассмотрим изгибаемую интумесцентную огнезащиту для строительных конструкций и кабельных изделий [34]. Вспучивающееся покрытие представляет собой сетку с множеством прядей, которые образуют ряд отверстий в гибкой сетке, имеющей вспучивающееся покрытие, наносимое на нее. Сетка имеет оптимальный размер, который позволяет вспучивающемуся покрытию пропускать воздушный поток через гибкую сетку до тех пор, пока вспучивающееся покрытие не будет подвергаться воздействию температур, равных или превышающих температуру активации, после чего вспучивающееся покрытие набухает, герметизируя отверстия и предотвращая прохождение воздуха через гибкую решетку. Процесс образования пенококса начинается при 140°C. Данный вид огнезащиты, являясь ПКМ, сам может обеспечивать огнестойкость стальных строительных конструкций от R15 до R60 [34, 35].

Согласно ГОСТ 30244–94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть», для каждого испытания изготавливают 12 образцов длиной 1000 мм,

шириной 190 мм. Толщина образцов должна соответствовать толщине материала, применяемого в реальных условиях.

Для каждого материала следует проводить три испытания. Каждое из трех испытаний заключается в одновременном испытании четырех образцов материала (табл. 1). Взвесив четыре образца, необходимо ввести их в камеру сжигания. Продолжительность воздействия на образец пламени от источника зажигания должна составлять 10 мин. Испытание считается законченным после остывания образцов до температуры окружающей среды.

В результате испытаний наблюдалось потемнение, спекание образцов. Испытанные образцы относятся к группе горючести Г1.

Согласно ГОСТ 30402–96, для классификации материалов по группам воспламеняемости используют КППТП (критическая поверхностная плотность теплового потока). ППТП (поверхностная плотность теплового потока) должна находиться в пределах от 10 до 50 кВт/м². За начальную ППТП принимается 30 кВт/м².

Для испытаний изготавливают 15 образцов, имеющих форму квадрата, со стороной 165 мм. Образец оборачивают листом фольги, помещают в держатель, устанавливают его на подвижную платформу и производят регулировку противовеса. Устанавливают подвижную горелку и по регулируемому термоэлектрическому преобразователю задают установленную при калибровке величину термоЭДС, соответствующую ППТП 30 кВт/м² (рис. 3).

Через 15 мин или при воспламенении образца испытание прекращают. Результаты испытаний представлены в табл. 2. Испытанные образцы относятся к группе воспламеняемости В2 (умеренновоспламеняемые), так как КППТП составляет 25 кВт/м².

Согласно ГОСТ 12.1.044–89, коэффициент дымообразования – показатель, характеризующий оптическую плотность дыма, образующегося при пламенном горении или термоокислительной деструкции (тлении) определенного количества твердого вещества (материала) в условиях специальных испытаний.

Сущность метода определения коэффициента дымообразования заключается в определении оптической плотности дыма, образующегося при горении или тлении известного количества испытуемого вещества или материала, распределенного в заданном объеме.

Коэффициент дымообразования (наибольший в режиме тления), полученный в ходе испытания, – 295 м²/кг. Таким образом, согласно ГОСТ 12.1.044–89, дымообразующая способность умеренная, Д2.

Согласно ГОСТ 12.1.044–89, показатель токсичности продуктов горения – отношение количества материала к единице объема замкнутого пространства, в котором образующиеся при горении материала газообразные продукты вызывают гибель 50% подопытных животных (мыши белые лабораторные).

Таблица 5
Table 5Классы пожарной опасности продукции из ПКМ
Fire hazard classes for PCM products

Продукция	Изготовитель	Показатели	КПО	Номер сертификата
Панели алюминиевые композитные BILDEX	ООО «Билдэкс»	Г1, В1, Д2, Т2	КМ1	С-RU.ПБ37.В.02115
Сетка арматурная из композитной полимерной арматуры	ООО «Композит 21»	Г2, В2, Д2, Т2	КМ3	RU.31879.04ПЖС0. ОС31.001.АБ034
Алюминиевые композитные панели Grossbond	Фирма «Guangzhou Goodsense Decorative Building Materials»	Г1, В1, Д2, Т2	КМ1	ССПБ.СН.ОП019. С00120
Арматура композитная полимерная периодического волокна из стеклянного волокна	ООО «ПОЛИПЛАСТ»	Г4, В2, Д2, Т2	КМ5	НСОПБ. RU.ПР019/З.Н.01362
Арматура композитная полимерная периодического волокна из стеклянного волокна	ООО «СИВА КОМПОЗИТ»	Г2, В2, Д2, Т2	КМ3	НСОПБ. RU.ПР019/З.Н.01007
Стеклопластик трудногорючий на основе полиэфирной смолы	ООО «Композитные Технологии и Оснастка»	Г1, В2, Д2, Т2	КМ2	С-RU.АЮ64.В.01354
Стеклопластик для производства изделий с огнестойкими свойствами на основе наполненных полиэфирных смол	ООО «Композитные Технологии и Оснастка»	Г1, В2, Д2, Т2	КМ2	НСОПБ.RU.ЭО. ПР.041.Н.00123
Трубы и фитинги из полимерных материалов. ТУ 226-001-96618058–2006 «Трубы из полимерных композиционных материалов соединительных и фасонные части»	ООО «Торговый дом «Базальтовые трубы»	Г1, Д1, Т1	КМ1	РОСС RU 31588.04ОЦНО. ОС02.00205
Комплексное огнезащитное покрытие для труб из полимерных композиционных материалов, соединительных и фасонных частей на основе краски огнезащитной «Пенолюкс М-0145»	ООО «Торговый дом «Базальтовые трубы»	Г1, В1, Д2, Т2	КМ2	НСОБП ЮАБ0.RU. ЭО,ПР.007/0001

Таблица 6
Table 6

Классы пожарной опасности строительных материалов (табл. 3 «Классы пожарной опасности строительных материалов» Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 123-ФЗ)

Classes of fire hazard of building materials (Table 3 «Classes of fire hazard of building materials» of the Federal Law «Technical Regulations on Fire Safety Requirements» 123-FZ)

Свойства пожарной опасности строительных материалов	Класс пожарной опасности строительных материалов, зависимости от групп					
	КМ0	КМ1	КМ2	КМ3	КМ4	КМ5
Горючесть	НГ	Г1	Г1	Г2	Г3	Г4
Воспламеняемость	–	В1	В2	В2	В2	В3
Дымообразующая способность	–	Д2	Д2	Д3	Д3	Д3
Токсичность	–	Т2	Т2	Т2	Т3	Т4
Распространение пламени	–	РП1	РП1	РП2	РП2	РП4

Сущность биологического (есть также расчетно-экспериментальный метод, но он реже используется) метода определения показателя токсичности заключается в сжигании исследуемого материала в камере сгорания при заданной плотности теплового потока и выявлении зависимости летального эффекта газообразных продуктов горения от массы материала, отнесенной к единице объема экспозиционной камеры. Затравку животных проводят статическим способом.

В каждом опыте используют не менее восьми белых мышей массой от 18 до 25 г. Продолжительность экспозиции составляет 30 мин.

При определении биологическим методом нет необходимости определять наличие и концентрации многих токсичных компонентов. Однако непрерывная регистрация изменения концентраций является необходимым условием проведения биологических исследований. В зависимости от состава материала в

продуктах горения чаще других химических соединений являются: оксиды углерода, циановодород, хлороводород; могут присутствовать, кроме того, оксиды азота, акролеин, фтороводород, бромоводород, диоксид серы, формальдегид и др. На токсический эффект продуктов горения может оказывать влияние высокое содержание диоксида углерода. Данный эффект также усиливается при уменьшении концентрации кислорода.

Согласно результатам испытаний (табл. 4) и наблюдениям за подопытными животными, показатель токсичности составил $114,1 \pm 5,7$ г/м². Группа опасности – Т2 (умеренно опасные).

Таким образом, рассмотренная огнезащитная сетка характеризуется следующими показателями: Г1, В2, Д2, Т2. По табл. 3 «Классы пожарной опасности строительных материалов» 123-ФЗ присваивается класс пожарной опасности КМ1. В табл. 5 представлены примеры продукции из композитов и их класс пожарной опасности согласно официальным данным производителей.

Проанализировав сертификаты соответствия требованиям 123-ФЗ на некоторые изделия из ПКМ (табл. 5), можно сделать вывод, что в большинстве случаев изделиям присваивается класс пожарной опасности КМ2 согласно табл. 3 «Классы пожарной опасности строительных материалов» 123-ФЗ (табл. 6). Изделия же из незащищенных средствами огнезащиты древесины большинства пород в результате испытаний будут обладать показателем Г4, соответственно классом пожарной опасности КМ5 (табл. 6).

Результаты и обсуждения

При анализе рефератов и патентов современных изобретений, например Патент РФ № 2013101801/05 «Панель, включающая полимерный композиционный слой»; полимерная композиция на основе фурфуролацетоновых мономеров (Патент РФ № 2019135030 «Полимерная композиция»), которая может быть использована в качестве связующего в

производстве полимербетонов для гидротехнических сооружений и конструкционных материалов и др., сделан вывод, что в патентах, как правило, не представлена информация о пожарной опасности и не предлагается никаких возможных вариантов по повышению огнестойкости разрабатываемых изобретений.

Кроме повышенной пожарной опасности ПКМ существуют проблемы, ограничивающие использование ПКМ в строительстве [36]:

– недостаточность нормативно-технической литературы в области проектирования конструкций на основе строительных композиционных материалов [36, 37];

– неполнота научно-технической базы для исследований строительных композиционных материалов;

– сложность расчета конструкций на основе строительных композиционных материалов в системах автоматизированного проектирования (САПР).

При отсутствии огнезащиты прогрев конструкций в условиях пожара настолько велик, что практически исключается возможность применения конструкций из ПКМ без огнезащиты. Использование огнезащиты позволяет существенно повысить предел огнестойкости. Наиболее приемлемыми огнезащитными покрытиями для ПКМ являются вспучивающиеся покрытия.

Эффективность использования таких покрытий во многом зависит от температуры начала их вспучивания.

Представленные в статье результаты проведенных испытаний по обеспечению требуемого уровня пожаробезопасности показывают возможность применения полимерных композитных материалов в строительной сфере. Кроме того, рассмотрены проблемы, ограничивающие использование композитов в строительстве, которые также требуют решения. Создание пожаробезопасных конструкций из ПКМ может содействовать расширению области и увеличению объема использования композитов в строительстве и других сферах.

Список литературы

1. Флеров А.В. *Материаловедение и технология художественной обработки металлов*. М.: Высшая школа, 1981. 288 с.
2. Ивлиев А.А., Кальгин А.А., Скок О.М. *Отделочные строительные материалы*. М.: Academia, 2008. 487 с.
3. Омаров Ж.М., Жолдыбаев Ш.С., Жандалинова К.А. *Использование композитных материалов в строительной отрасли // Наука и техника Казахстана*. 2019. № 4. С. 7–16.
4. *Современные строительные материалы и товары: Справочник*. М.: Эксмо, 2006. 576 с.
5. Лысенко Е.И., Котлярова Л.В., Ткаченко Г.А., Трищенко И.В., Юндин А.Н. *Современные отде-*

References

1. Flerov A.V. *Materialovedeniye i tekhnologiya khudozhestvennoy obrabotki metallov* [Material Science and technology of artistic metal processing]. Moscow: Vysshaya shkola. 1981. 288 p.
2. Ivliev A.A., Kalgin A.A., Skok O.M. *Otdelochnyye stroitel'nyye materialy* [Finishing building materials]. Moscow: Academia. 2008. 487 p.
3. Omarov Zh.M., Zholdybaev Sh.S., Zhandalinova K.A. *The use of composite materials in the construction industry. Nauka i tekhnika Kazakhstana*. 2019. No. 4, pp. 7–16. (In Russian).
4. *Sovremennyye stroitel'nyye materialy i tovary: Spravochnik*. [Modern building materials and goods. Reference book]. Moscow: Eksmo. 2006. 576 p.

- лочные материалы / Под общ. ред. проф. А.Н. Юдина. Ростов н/Д: Феникс, 2003. 448 с.
6. Строительное материаловедение / Под общ. ред. В.А. Невского. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 571 с.
 7. Байер В.Е. *Материаловедение для архитекторов: Учебное пособие*. М.: Астрель; АСТ; Транзит-книга. 2005. 254 с.
 8. Лейкин А.Е., Родин Б.И. *Материаловедение*. М.: Высшая школа, 1971. 416 с.
 9. Айрапетов Д.П. *Архитектурное материаловедение*. М.: Стройиздат, 1986. 310 с.
 10. Гравит М.В., Сердюк Д.О., Бардин А.В., Прусаков В.А., Бука-Вайваде К. Методы определения огнестойкости конструкций деревянного каркаса // *Инженерно-строительный журнал*. 2019. № 1 (85). С. 92–106. DOI: 10.18720/MCE.85.8.
 11. Гарашченко А.Н., Берлин А.А., Кульков А.А. Способы и средства обеспечения требуемых показателей пожаробезопасности конструкций из полимерных композитов (обзор). *Пожаровзрывобезопасность*. 2019. Т. 28. № 2. С. 9–30. <https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.02.9-30>
 12. Салатов Е.К., Чурсина А.М. Перспективы применения углеволоконных композитных материалов в промышленном и гражданском строительстве // *Вестник Московского информационно-технологического университета – Московского архитектурно-строительного института*. 2018. № 4. С. 29–35.
 13. Страхов В.Л., Гарашченко А.Н., Рудзинский В.П. Программные комплексы для расчетов тепломассопереноса в строительных конструкциях с огнезащитой с учетом термического разложения, вспучивания–усадки и испарения–конденсации // *Пожаровзрывобезопасность*. 2001. Т. 10, № 4. С. 9–11.
 14. Гарашченко Н.А., Гарашченко А.Н., Рудзинский В.П. Теплотехнические расчеты огнестойкости деревоклееных конструкций с огнезащитой // *Монтажные и специальные работы в строительстве*. 2006. № 10. С. 14–18.
 15. Гарашченко А.Н., Страхов В.Л., Рудзинский В.П. Методика расчетов толщин огнезащитных покрытий на основе минеральных вяжущих для строительных конструкций из металла (на примере покрытия Сотерм-1М) // *Пожаровзрывобезопасность*. 2005. Т. 14. № 4. С. 17–22.
 16. Гарашченко А.Н., Страхов В.Л., Рудзинский В.П. Экспериментальные и теоретические исследования особенностей тепломассопереноса вспучивающейся огнезащиты на примере покрытия «Протерм Стил». *Труды Третьей Российской национальной конференции по теплообмену*. 2002. Т. 6. С. 254–257.
 17. Назаренко В.А., Гарашченко А.Н. Результаты исследований и перспективы использования вспучивающегося покрытия СГК-2 для защиты от пожаров конструкций и оборудования различного
 5. Lysenko E.I., Kotlyarova L.V., Tkachenko G.A., Trishchenko I.V., Yundin A.N. *Sovremennyye ot-delochnyye materialy / pod obshch. red. prof. A.N. Yudin* [Modern finishing materials / under total. ed. prof. A.N. Yudin]. Rostov-on-Don: Phoenix, 2003. 448 p.
 6. *Stroitel'noye materialovedeniye / Pod obshch. red. V.A. Nevskogo* [Building materials science / Under total. ed. V.A. Nevsky]. Rostov-on-Don: Phoenix. 2007. 571 p.
 7. Bayer V.E. *Materialovedeniye dlya arkhitekturov: Uchebnoye posobiye* [Material science for architects: A textbook]. Moscow: Astrel, AST, Tranzitkniga. 2005. 254 p.
 8. Leikin A.E., Rodin B.I. *Materials Science*. Moscow: Vysshaya shkola. 1971. 416 p.
 9. Ayrapetov D.P. *Arkhitekturnoye materialovedeniye* [Architectural materials science]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 310 p.
 10. Gravit M.V., Serdyuk D.O., Bardin A.V., Prussakov V.A., Buka-Vaivade K. Methods for determining the fire resistance of wooden frame structures. *Magazine of Civil Engineering*. 2019. No. 1 (85), pp. 92–106. DOI: 10.18720/MCE.85.8.
 11. Garashchenko A.N., Berlin A.A., Kulkov A.A. Methods and means of ensuring the required fire safety indicators of structures made of polymer composites (overview). *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2019. Vol. 28. No. 2, pp. 9–30. (In Russian). <https://doi.org/10.18322/PVB.2019.28.02.9-30>
 12. Salatov E.K., Chursina A.M. Prospects for the use of carbon fiber composite materials in industrial and civil construction. *Vestnik MITU-MASI*. 2018. No. 4, pp. 29–35. (In Russian).
 13. Strakhov V.L., Garashchenko A.N., Rudzinsky V.P. Program complexes for calculations of heat and mass transfer in building structures with fire protection taking into account thermal decomposition, swelling – shrinkage and evaporation–condensation. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2001. Vol. 10. No. 4, pp. 9–11. (In Russian).
 14. Garashchenko N.A., Garashchenko A.N., Rudzinsky V.P. Thermal calculations of fire resistance of wood-glued structures with fire protection. *Montazhnyye i spetsial'nyye raboty v stroitel'stve*. 2006. No. 10, pp. 14–18. (In Russian).
 15. Garashchenko A.N., Strakhov V.L., Rudzinsky V.P. Methodology for calculating the thickness of fire-resistant coatings based on mineral binders for building structures made of metal (on the example of the Soterm-1M coating). *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2005. Vol. 14. No. 4, pp. 17–22. (In Russian).
 16. Garashchenko A.N., Strakhov V.L., Rudzinsky V.P. Experimental and theoretical studies of the features of heat and mass transfer of intumescent fire protection on the example of the coating “Proterm Steel”. *Proceedings of the third Russian national conference on heat transfer*. 2002. Vol. 6, pp. 254–257.

- назначения // *Пожаровзрывобезопасность*. 2005. Т. 14. № 6. С. 17–22.
18. Дьячкова А.А., Кузнецов В.Д. Расчет усиления железобетонных плит углеродными композиционными материалами // *Инженерно-строительный журнал*. 2009. № 3. С. 25–28.
 19. Cruz J.S., Barros J. Modeling of bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete. *Computer and Structures*. 2006. No. 82, pp. 1513–1521. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2004.03.047>
 20. FIB. Bulletin 14. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Sprint-Digital-Druck Stuttgart, 2001.
 21. Гаращенко А.Н., Суханов А.В., Гаращенко Н.А., Смирнов Н.В., Константинова Н.И., Меркулов А.А. Снижение пожарной опасности полимерных композиционных материалов при использовании вспучивающихся огнезащитных покрытий // *Пожарная безопасность*. 2012. № 4. С. 61–67.
 22. Гаращенко А.Н., Страхов В.Л., Разин А.Ф., Канина Е.П., Рудзинский В.П. Отработка теплоогнезащиты несущей конструкции гребного вала из композитных материалов // *Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении*. 1992. Вып. 1 (109). С. 12–15.
 23. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н., Рудзинский В.П. Расчет нестационарного прогрева многослойных огнезащитных конструкций // *Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении*. 1994. Вып. 1 (109)–2 (110). С. 30–36.
 24. Зверев В.Г., Назаренко В.А., Цымбалюк А.Ф. Снижение пожарной опасности полимерных композиционных материалов при использовании вспучивающихся огнезащитных покрытий // *Исследования теплопередачи*. 2005. Т. 36. Вып. 7. С. 543–556.
 25. Теплоухов А.В. Исследование поведения многослойных конструкций в условиях воздействия внешних тепловых потоков // *Труды МИТ*. 2008. Т. 9. Ч. 1. С. 231–238.
 26. Зверев В.Г., Назаренко В.А., Цымбалюк А.Ф. Тепловая защита многослойных контейнеров от воздействия пожаров // *Теплофизика высоких температур*. 2008. Т. 46. № 2. С. 283–289. DOI: 10.1134/s10740-008-2015-9
 27. Гаращенко А.Н., Васин В.П., Натрусов В.И. Повышение пожаробезопасности тары для боеприпасов, изготавливаемой из полимерных композиционных материалов, с помощью огнезащиты // *Вопросы оборонной техники. Сер. 15: Композиционные неметаллические материалы в машиностроении*. 2012. Вып. 1 (164)–2 (165). С. 44–50.
 17. Nazarenko V.A., Garashchenko A.N. Results of research and prospects for the use of the SGK-2 вспучивающего coating for fire protection of structures and equipment for various purposes. *Pozharovzryvobezопасnost'*. 2005. Vol. 14. No. 6, pp. 17–22.
 18. Dyachkova A.A., Kuznetsov V.D. Calculation of reinforcement of reinforced concrete slabs with carbon composite materials. *Magazine of Civil Engineering*. 2009. No. 3, pp. 25–28.
 19. Cruz J.S., Barros J. Modeling of bond between near-surface mounted CFRP laminate strips and concrete. *Computer and Structures*. 2006. No. 82, pp. 1513–1521. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2004.03.047>
 20. FIB. Bulletin 14. Externally bonded FRP reinforcement for RC structures. Sprint-Digital-Druck Stuttgart, 2001.
 21. Garashchenko A.N., Sukhanov A.V., Garashchenko N.A., Smirnov N.V., Konstantinova N.I., Merkulov A.A. Reducing the fire hazard of polymer composite materials when using intumescent fire retardant coatings. *Pozharnaya bezопасnost'*. 2012. No. 4, pp. 61–67.
 22. Garashchenko A.N., Strakhov V.L., Razin A.F., Kanina E.P., Rudzinsky V.P. Development of heat and fire protection of the propeller shaft bearing structure made of composite materials. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Ser. 15: Kompozitsionnyye nemetallicheskiye materialy v mashinostroyenii*. 1992. Iss. 1 (109), pp. 12–15. (In Russian).
 23. Strakhov V.L., Garashchenko A.N., Rudzinsky V.P. Calculation of non-stationary heating of multilayer fireproof structures. *Voprosy oboronnoy tekhniki. Ser. 15: Kompozitsionnyye nemetallicheskiye materialy v mashinostroyenii*. 1994. Iss. 1 (109)–2 (110), pp. 30–36. (In Russian).
 24. Zverev V.G., Nazarenko V.A., Tsimbalyuk A.F. Heat and fire protection of multilayer structures based on the use of foaming coatings. *Issledovaniya teploperedachi*. 2005. Vol. 36. Iss. 7, pp. 543–556. (In Russian).
 25. Teploukhov A.V. Investigation of the behavior of multilayer structures under the influence of external heat flows. *Trudy MIT*. 2008. Vol. 9. Part 1, pp. 231–238. (In Russian).
 26. Zverev V.G., Nazarenko V.A., Tsimbalyuk A.F. Thermal protection of multilayer containers from the effects of fires. *Teplofizika vysokikh temperatur*. 2008. Vol. 46. No. 2, pp. 283–289. DOI: 10.1134/s10740-008-2015-9 (In Russian).
 27. Garashchenko A.N., Vasin V.P., Natrusov V.I. Increasing the fire safety of ammunition containers made of polymer composite materials using fire protection *Voprosy oboronnoy tekhniki. Ser. 15: Kompozitsionnyye nemetallicheskiye materialy v mashinostroyenii*. 2012. Iss. 1 (164)–2 (165), pp. 44–50. (In Russian).

28. Плотников В.И., Кульков А.А., Слитков М.Н., Плотников Р.В., Гаращенко А.Н. Отработка конструкций и исследование теплового состояния укупорки из полимерных композиционных материалов в условиях пожара. *Фундаментальные основы баллистического проектирования: Сб. тр. 5-й Всероссийской научно-технической конференции*. СПб., 2016. С. 193–196.
29. Корольченко А.Я., Гаращенко А.Н., Гаращенко Н.А., Рудзинский В.П. Расчеты толщин огнезащиты, обеспечивающих требуемые показатели пожарной опасности деревоклееных конструкций // *Пожаровзрывобезопасность*. 2008. Т. 17. № 3. С. 49–56.
30. Альменбаев М.М., Арцыбашева О.В., Асеева Р.М., Макишев Ж.К., Москалев В.А., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Исследование скорости обугливания деревянных конструкций длительного срока эксплуатации // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2014. № 9 (158). С. 246–254.
31. Альменбаев М.М. Эффективность различных способов повышения огнезащиты древесины с лакокрасочными материалами // *Технологии технической безопасности*. 2015. № 2 (60). С. 56–60.
32. Анохин Е.А., Полищук Е.Ю., Сивенков А.Б. Применение огнезащитных пропиточных композиций для снижения пожарной опасности деревянных конструкций с различными сроками эксплуатации // *Пожаровзрывобезопасность*. 2017. Т. 26. № 2. С. 22–35.
33. Анохин Е.А., Полищук Е.Ю., Сивенков А.Б. Применение огнезащитных пропиточных композиций для повышения класса пожарной опасности деревянных конструкций длительного срока эксплуатации. *Ройтмановские чтения: Материалы 5-й Международной научно-практической конференции*. Москва. 2017. С. 10–14.
34. Патент RU 2711076 C1. *Огнезащитное интумесцентное рулонное покрытие*. Гравит М.В., Прусаков В.А. Опубл. 15.01.2020.
35. Гравит М.В., Прусаков В.А., Коротин И.Г., Тимофеев Н.В., Симоненко Я.Б. Интумесцентная конструктивная изгибаемая огнезащита для строительных конструкций и кабельных линий // *Пожаровзрывобезопасность*. 2020. Т. 29 (3). С. 18–32.
36. Семенов В.В., Буторов И.А. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в промышленном и гражданском строительстве // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2016. № 4. С. 129–137.
37. Гравит М.В., Недрышкин О.В., Вайтицкий А.А., Шпакова А.М., Нигматуллина Д.Г. Пожарно-технические характеристики строительных материалов в европейских и российских нормативных документах. Проблемы гармонизации методов исследования и классификации // *Пожаровзрывобезопасность*. 2016. Т. 25 (10). С. 16–29.
28. Plotnikov V.I., Kulkov A.A., Slitkov M.N., Plotnikov R.V., Garashchenko A.N. Development of structures and investigation of the thermal state of closures made of polymer composite materials under fire conditions. *Fundamental foundations of ballistic design: collection of works of the 5th All-Russian scientific and technical conference*. St. Petersburg. 2016, pp. 193–196. (In Russian).
29. Korolchenko A. Ya., Garashchenko A. N., Garashchenko P. A., Rudzinsky V. 77. Calculations of fire protection thicknesses that provide the required fire hazard indicators of wood-glued structures. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2008. Vol. 17. No. 3, pp. 49–56. (In Russian).
30. Almenbaev M.M., Artsybasheva O.V., Aseeva R.M., Makishev Zh.K., Moskaev V.A., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Investigation of the rate of charring of wooden structures with a long service life. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskiye nauki*. 2014. No. 9 (158), pp. 246–254. (In Russian).
31. Almenbaev M.M. Efficiency of various methods of increasing the fire protection of wood with paint and varnish materials. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*. 2015. No. 2 (60), pp. 56–60. (In Russian).
32. Anokhin E.A., Polishchuk E.Yu., Sivenkov A.B. The use of flame-retardant impregnating compositions to reduce the fire hazard of wooden structures with different service life. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2017. Vol. 26. No. 2, pp. 22–35. (In Russian).
33. Anokhin E. A., Polishchuk E. Yu., Sivenkov A. B. Application of fire-resistant impregnating compositions for increasing the fire hazard class of wooden structures for a long service life. *Roitman readings: materials of the 5th International Scientific and Practical conference*. Moscow. 2017, pp. 10–14. (In Russian).
34. Patent RU 2711076 C1 *Fire-resistant intumescent roll coating*. Gravit M.V., Prusakov V.A. Published 15.01.2020. (In Russian).
35. Gravit M.V., Prusakov V.A., Korotin I.G., Timofeev N.V., Simonenko Ya.B. And tumescent structural flexible fire protection for building structures and cable lines. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2020. Vol. 29 (3), pp. 18–32. (In Russian).
36. Semenov V.V., Butorov I.A. Problems of using polymer composite materials in industrial and civil construction. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2016. No. 4, pp. 129–137. (In Russian).
37. Gravit M.V., Nedryshkin O.V., Vaititsky A.A., Shpakova A.M., Nigmatullina D.G. Fire-technical characteristics of building materials in European and Russian regulatory documents. Problems of harmonization of research methods and classification. *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2016. Vol. 25 (10), pp. 16–29. (In Russian).

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 «Строительные материалы» 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 (не выше v.12), Adobe Illustrator (не выше v.CS6) 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>

Организатор конференции



INTERNATIONAL
ASSOCIATION OF
FOUNDATION
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ
АССОЦИАЦИЯ
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

23-25 НОЯБРЯ 2021

Официальная поддержка



НИИСтр строительство
научно-исследовательский центр



НИИОСП
ИМ. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА

МЕРОПРИЯТИЕ ПРИУРОЧЕНО К 120-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Н. А. ЦЫТОВИЧА
И 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ С. С. ВЯЛОВА

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ»

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:
МОСКВА, ХОЛИДЕЙ ИНН СУЩЁВСКИЙ
УЛ. СУЩЕВСКИЙ ВАЛ, 74

Генеральный спонсор
конференции



Спонсоры конференции



Генеральные информационные партнеры



www.fc-union.com, info@fc-union.com
+7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810



РОССИЙСКАЯ СТРОИТЕЛЬНАЯ НЕДЕЛЯ

1-4.03.2022

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»



Международная
специализированная
выставка RosBuild 2022

Салон «Малоэтажное
домостроение»

VII Всероссийское
совещание по развитию
жилищного строительства

Форум «Строим будущее
России вместе»



12+
Реклама



www.rosbuild-expo.ru

При поддержке



Под патронатом



Организатор

