

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®]

№9



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

СЕНТЯБРЬ 2017 г. (752)

*С ДНЕМ РАБОТНИКА
ДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА!*

HRIZO**PRO**

СТАБИЛИЗИРУЮЩАЯ ДОБАВКА
В ЦМА



8 - 800 - 200 - 53 - 10



ht@orenmin.ru



www.hrizopro.ru

Учредитель журнала:
 ООО Рекламно-издательская
 фирма «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
 Журнал зарегистрирован
 Министерством РФ по делам
 печати, телерадиовещания
 и средств массовой информации
 ПИ №77–1989
Входит в Перечень ВАК
 и государственный
 проект **РИНЦ**

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№9

Основан в 1955 г.

(752) сентябрь 2017 г.

Главный редактор:

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

Редакционный совет:

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

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

БУТКЕВИЧ Г. Р.,
 канд. техн. наук, член правления
 Ассоциации «Недра» (Москва)

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

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

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

ЖУРАВЛЕВ А. А.,
 Президент Ассоциации «Недра» (Москва)

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

КРАСОВИЦКИЙ Ю. В.,
 д-р техн. наук, профессор (Воронеж)

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)

ОРЕШКИН Д. В.,
 д-р техн. наук, профессор (Москва)

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

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

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)

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)

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
 журнал «Строительные материалы»®, 2017

Керамические строительные материалы

**Международная научно-практическая конференция «Развитие
 керамической промышленности России» – 15 лет с отраслью! (Информация).....4**

**Норский керамический завод. 40 лет славной истории.
 Уверенность в будущем (Информация)8**

**А.Ю. СТОЛБОВУШКИН, О.А. ФОМИНА, В.В. ШЕВЧЕНКО,
 Г.И. БЕРДОВ, М.С. ДРУЖИНИН, И.В. КАМБАЛИНА
 Исследование эксплуатационных свойств керамического кирпича
 матричной структуры9**

**А.Н. БОГДАНОВ, Л.А. АБДРАХМАНОВА, В.Г. ХОЗИН
 Модификация кирпичных суглинков многослойными углеродными
 нанотрубками для выпуска стеновой керамики14**

**А.М. САЛАХОВ, Р.Р. КАБИРОВ, В.П. МОРОЗОВ, Р.А. АРИСКИНА,
 А.Р. ВАЛИМУХАМЕТОВА, К.А. АРИСКИНА
 Исследование структуры и фазового состава глиен
 в процессе их термической обработки18**

Первый в Татарстане студенческий научный отряд «КерамТех» (Информация)23

Завод Ibstock South Holmwood в Англии (Информация)25

**А.Е. БУРУЧЕНКО, В.И. ВЕРЕЩАГИН, С.И. МУШАРАПОВА
 Исследование физико-химических процессов методом измерения
 электропроводности в керамических массах при обжиге26**

**И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, Г.Я. ШАЕВИЧ, С.Г. МАКАРОВ, Г.Г. ЛИБЕРОВА, М.Г. ТУРОВ, В.В. ЧЕЛЫШЕВ
 Испытания резательного автомата в экстремальных условиях30**

Сотрудничество компаний BEDESCHI и LYMAN Group в Индонезии (Информация)....32

**Г.Т. ОРУЗБАЕВА, М.Т. КАСЫМОВА
 Определение температуры обжига Чуйской керамики VIII–XVI вв.33**

Современные бетоны: наука и практика

**П.Д. АРЛЕНИНОВ, С.Б. КРЫЛОВ
 Численная методика определения неизвестных технологических параметров
 бетонной смеси при длительных экспериментальных исследованиях37**

**Е.М. ЧЕРНЫШОВ
 Морозная деструкция бетонов
 Часть 1. Механизм, критериальные условия управления40**

**Н.С. СОКОЛОВ, С.С. ВИКТОРОВА, Г.М. СМЕРНОВА, И.П. ФЕДОСЕЕВА
 Бурионъекционная свая ЭРТ как заглубленная железобетонная конструкция47**

**Л.И. ХУДЯКОВА, О.В. ВОЙЛОШНИКОВ
 Перспективы использования серпентинизированных пород
 в качестве минерального порошка для асфальтобетона50**

Адрес редакции: Россия, 127434, Москва,
 Дмитровское ш., д. 9, стр. 3
Тел./факс: (499) 976-22-08, (499) 976-20-36
E-mail: mail@rifsm.ru **http://www.rifsm.ru**

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации. Редакция может опубликовать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка и воспроизведение статей, рекламных и иллюстративных материалов возможны лишь с письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за содержание рекламы и объявлений.

Founder of the journal:
«STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO

The journal is registered
by the RF Ministry of Press,
Broadcasting and Mass
Communications,
PI № 77–1989

STROITEL'NYE MATERIALY®

Monthly scientific-technical and industrial journal

№9

Founded in 1955 (752) September 2017

Editor-in-chief

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

Editorial Board

RESIN V.,
Chairman, Doctor of Sciences (Economy),
Professor (Moscow)

BUR'YANOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering), Director
of the Russian Association of gypsum
(Moscow)

BUTKEVICH G.,
Candidate of Sciences (Engineering),
member of the Board of Association
«Nedra» (Moscow)

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

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

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

ZHURAVLEV A.,
President of the Association «Nedra»
(Moscow);

KOROLEV E.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Moscow)

KRASOVITSKY Yu.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Voronezh)

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

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

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

ORESHKIN D.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Moscow)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ceramic building materials

The International Scientific and Practical Conference «Development of the Ceramic Industry in Russia» – 15 Years with the Industry (Information).....4

Norsk Ceramic Factory: 40 Years of Glorious History. Confidence in the Future (Information).....8

A.Yu. STOLBOUSHKIN, O.A. FOMINA, V.V. SHEVCHENKO,
G.I. BERDOV, M.S. DRUZHININ, I.V. KAMBALINA
Research of Exploitation Properties of a Ceramic Brick of a Matrix Structure.....9

A.N. BOGDANOV, L.A. ABDRAKHMANOVA, V.G. KHOZIN
Modification of Brick Loams with Multi-Layer Carbon Nano-Tubes for Production of Wall Ceramics14

A.M. SALAKHOV, R.R. KABIROV, V.P. MOROZOV, R.A. ARISKINA,
A.R. VALIMUKHAMETOVA, K.A. ARISKINA
Research of Structure and Phase Composition of Clays in the Course of their Heat Treatment18

The First Student Scientific Group «KeramTech» in Tatarstan (Information).....23

Ibstock South Holmwood Ceramic Brick Factory in England (Информация)25

A.E. BURUCHENKO, V.I. VERESHCHAGIN, S.I. MUSHARAPOVA
Research in Physical-Chemical Processes by Method of Measuring Electric Conductivity in Ceramic Masses When Firing.....26

I.F. SHLEGEL, G.Ja. SHAEVICH, S.G. MAKAROV, G.G. LIBEROVA,
M.G. TUROV, V.V. CHELYSHEV
Tests of a Cutting Automatic Machine under Extreme Conditions.....30

Cooperation of the BEDESCHI and LYMAN Group Company In Indonesia (Информация).....32

G.T. ORUZBAEVA, M.T. KASYMOVA
Determination of Burning Temperature of Chuy Ceramics of the VIII–XVI Centuries.....33

Modern concretes: science and practice

P.D. ARLENINOV, S.B. KRYLOV
Numerical Methods for Determination of Unknown Technological Parameters of Concrete Mix during Long-Term Experimental Studies37

E.M. CHERNYSHOV
Frost Destruction of Concretes. Part 1. Mechanism, Critical Conditions of Control.....40

N.S. SOKOLOV, S.S. VIKTOROVA, G.M. SMIRNOVA, I.P. FEDOSEEVA
Bored-Injection Pile-ERT as a Buried Reinforced Concrete Structure47

L.I. KHUDYAKOVA, O.V. VOYLOSHNIKOV
Prospects of the Use of Serpentinous Rocks as a Mineral Powder for Asphalt Concrete50

Results of scientific research

V.A. GURIEVA, A.I. KUDIAKOV, T.K. BELOVA
Improvement in Technology of Preparation of a Cement Mortar with Modified Basalt Micro-Fibers54

УДК 666.7:620.162

А.Ю. СТОЛБОВУШКИН¹, д-р техн. наук (stanyr@list.ru), О.А. ФОМИНА¹, канд. техн. наук, В.В. ШЕВЧЕНКО¹, инженер; Г.И. БЕРДОВ², д-р техн. наук; М.С. ДРУЖИНИН³, студент (dms95@mail.ru); И.В. КАМБАЛИНА¹, канд. техн. наук

¹ Сибирский государственный индустриальный университет (654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113)

³ Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4)

Исследование эксплуатационных свойств керамического кирпича матричной структуры*

Приведены исследования физико-механических свойств керамических стеновых материалов матричной структуры из углеотходов и отходов обогащения железных руд. Даны результаты исследования химического, гранулометрического и минералогического составов сырьевых материалов. В заводских условиях из гранулированных шихт на основе техногенного сырья (70–85 мас. %) выпущен пустотелый керамический кирпич формата 1НФ с размерами 65×120×250 мм. Изделия соответствуют требованиям ГОСТ 530–2012, марке по прочности М100–200, по морозостойкости F25, F50, по классу средней плотности – 2. По теплотехническим характеристикам кирпичи относятся к группе малозэффективных изделий и имеют эквивалентный коэффициент теплопроводности кладки более 0,45 Вт/(м·°C). По удельной эффективной активности естественных радионуклидов изделия относятся к первому классу и могут использоваться без ограничений. Установлено отсутствие высолов на поверхности кирпича из углеотходов и незначительное их проявление при попеременном увлажнении и высушивании в керамических изделиях из шламистого железорудного сырья. Для устранения высолов предложен химический способ перевода сульфатов в водонерастворимые соединения.

Ключевые слова: углеотходы, отходы обогащения железных руд, керамический кирпич, опытно-заводские испытания, эксплуатационные свойства, радиационная безопасность.

Для цитирования: Столбовушкин А.Ю., Фомина О.А., Шевченко В.В., Бердов Г.И., Дружинин М.С., Камбалина И.В. Исследование эксплуатационных свойств керамического кирпича матричной структуры // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 9–13.

A.Yu. STOLBOUSHKIN¹, Doctor of Sciences (Engineering) (stanyr@list.ru), O.A. FOMINA¹, Candidate of Sciences (Engineering); V.V. SHEVCHENKO¹, Engineer; G.I. BERDOV², Doctor of Sciences (Engineering); M.S. DRUZHININ³, Student (dms95@mail.ru); I.V. KAMBALINA¹, Candidate of Sciences (Engineering)

¹ Siberian State Industrial University (42, Kirov Street, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation)

² State University of Architecture and Civil Engineering (113, Leningradskaya Street, Novosibirsk, 630008, Russian Federation)

³ Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2-nd Krasnoarmeyskaya Street, Saint Petersburg 190005, Russian Federation)

Research of Exploitation Properties of a Ceramic Brick of a Matrix Structure*

The study of physical and mechanical properties of ceramic wall materials of the matrix structure from coal waste and iron ore beneficiation waste is presented. The results of the investigation of the chemical, granulometric and mineralogical compositions of raw materials are given. In the factory conditions, a hollow ceramic brick of the size 1NF with dimensions of 65×120×250 mm was produced from granular charge based on technogenic raw materials (70–85% by weight). The products meet the requirements of GOST 530–2012 for the strength grade M100–200, for frost resistance F25, F50, for the class of medium density – 2. According to the thermal characteristics, the bricks belong to the group of inefficient products and have an equivalent coefficient of thermal conductivity of the masonry more than 0.45 W/(m·°C). According to the specific effective activity of natural radionuclides, the products belong to the first class and can be used without restrictions. It is established that there are no efflorescences on the surface of bricks from coal waste and their insignificant manifestation with alternate moistening and drying in ceramic products from slagged iron ore. A chemical method for transferring sulphates to water-insoluble compounds is proposed to eliminate high temperatures.

Keywords: waste coal, iron ore beneficiation waste, ceramic brick, pilot plant tests, exploitation properties, radiation safety.

For citation: Stolboushkin A.Yu., Fomina O.A., Shevchenko V.V., Berdov G.I., Druzhinin M.S., Kambalina I.V. Research of exploitation properties of a ceramic brick of a matrix structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 9–13. (In Russian).

Для оценки конкурентоспособности производимых строительных материалов на потребительском рынке большое значение имеет исследование и прогнозирование эксплуатационных свойств изделий на предмет их соответствия нормативным требованиям [1–3]. Для сегмента керамических стеновых материалов важными оценочными свойствами являются прочность, морозостойкость, средняя плотность и внешний вид, которые в конечном счете определяют их долговечность и привлекательность для потребителя [4, 5].

Специалисты отмечают, что при исследовании керамических изделий из нетрадиционного и техногенного сырья, имеющих новые структурные и конструктивные особенности, наряду со стандартными методами и определениями возникает необходимость в разработке и использовании новых исследований [6].

В [7] приведены результаты исследований керамических стеновых материалов матричной структуры на основе техногенного и природного сырья. Цель настоящей работы заключалась в изучении основных физико-

* Результаты исследования получены в рамках выполнения госзадания Минобрнауки РФ, шифр проекта № 7.7285.2017/8.9 «Фундаментальные исследования в области строительных керамических композиционных материалов с матричной структурой на основе техногенного и природного сырья».

* The results of the research were obtained within the framework of the state assignment of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, the code of the project No. 7.7285.2017 / 8.9 «Fundamental research in the field of construction ceramic composites with a matrix structure based on technogenic and natural raw materials.»

Таблица 1

Сырье	Содержание оксидов в % на сухое вещество												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП
ОЖР АОАФ	32,74	8,99	–	5,7	13,59	14,37	10,88	1,45	0,59	1,15		0,24	10,3
ОЖР МОФ	33,43	9,8	–	4,85	11,46	11,48	15,59	1,14	1,36	1,27		0,56	10,06
ОУО АР	40,87	16,74	0,84	–	16,47	2,12	2,51	–	0,23	0,2	1,71	0,25	17,81
ОУО ЦОФ	64,5	17,2	1,3	–	6,4	4,2	1,7	0,3	–	4,2		–	16,34
Новокузнецкий суглинок	62,85	14,17	0,85	4,91		4,44	2,38	0,45	–	3,8		–	5,4
Бердский суглинок	60,5	13,3	0,86	5,35		5,18	1,62	–	–	3,6		–	8,63

Таблица 2

Сырье	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	> 2,5	2,5–1	1–0,2	0,2–0,056	< 0,056
ОЖР АОАФ	0,2	1	20,7	27,5	50,6
ОЖР МОФ	0,2	1,6	22,7	31,5	44

Таблица 3

Сырье	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	> 0,063	0,063–0,01	0,01–0,005	0,0005–0,001	< 0,001
ОУО АР	55,2–58,8	8,2–10,1	7,9–8,6	11–12,4	10,4–12,1
ОУО ЦОФ	39,9	26,2	7,2	12,2	14,5
Новокузнецкий суглинок	–	2,6	62,15	4,18	28,17
Бердский суглинок	2,6	68,53	4,18	3,19	21,5

механических свойств, радиационной безопасности и процессов высолообразования на поверхности керамического кирпича из углеотходов и отходов обогащения железных руд.

В качестве сырьевых материалов использовались два вида техногенного сырья: шламистые железорудные отходы (ОЖР) и отходы углеобогащения (ОУО). Исследование ОЖР проводилось на представительных пробах двух рудообогатительных фабрик юга Кузбасса: Абагурской обогатительной фабрики (АОАФ) и Мундыбашской обогатительной фабрики (МОФ). Для изготовления кирпича применялись отходы углеобогащения Абашевской ЦОФ (ОУО ЦОФ) в г. Новокузнецке и отходы обогащения углистых аргиллитов Коркинского месторождения (ОУО АР) в Челябинской обл.

В качестве глинистого сырья для корректировки керамических шихт применялся местный легкоплавкий умереннопластичный суглинок в количестве 15–30 мас. %, характерный для месторождений Западной Сибири. Для спекания гранулированных техногенных отходов использовался тонкомолотый стеклобой в количестве 5–10 мас. %.

Химический состав сырьевых материалов представлен в табл. 1.

Гранулометрический состав тонкодисперсных железорудных отходов приведен в табл. 2, отходов углеобогащения и глинистого сырья – в табл. 3.

Изучение минерального состава сырьевых материалов проводилось комплексом методов, включающим петрографию, рентгеновскую дифрактометрию, электронную микроскопию и др. [8, 9]. Минералогический состав приведен в табл. 4.

В лабораторных условиях на основе используемого техногенного сырья (70–80 мас. % в составе шихты)

были получены керамические матричные композиты с пределом прочности при сжатии 20–45 МПа. По разработанной технологии [7] были проведены опытно-заводские испытания и выпущены промышленные партии кирпича матричной структуры на двух кирпичных заводах полусухого прессования в Западной Сибири и Красноярском крае. Испытания проводились на ООО «Бердский кирпичный завод» (БКЗ) в Новосибирской обл. и ООО «Красный кирпич» (г. Шарыпово, Красноярский край). Технология проведения заводских испытаний приведена в работе [8]. В соответствии с ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические» выпущенные изделия имели следующие параметры: кирпич керамический пустотелый, одинарный, рядовой, формата 1НФ с размерами 65×120×250 мм.

Комплексные исследования физико-механических и физико-химических свойств керамического кирпича проводились в аттестованных заводских лабораториях, испытательной лаборатории ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр» (г. Новокузнецк) и аккредитованном Центре коллективного пользования (ЦКП) «Материаловедение» Сибирского государственного индустриального университета. Основные физико-механические свойства керамического кирпича приведены в табл. 5.

Прочность кирпича определялась по ГОСТ 8462–85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе», морозостойкость устанавливалась методом объемного замораживания по ГОСТ 7025–91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости». Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности проводилось в ЦКП «Материаловедение» на фрагменте

Таблица 4

Сырье	Минералы	
	Глинистые	Неглинистые
ОЖР АОАФ	Следы	Хлорит, кварц, полевые шпаты, гранаты, амфиболы, пироксены, карбонаты, слюды, пирит, гематит
ОЖР МОФ	Следы	Хлорит, кварц, полевые шпаты, амфиболы, пироксены, кальцит, мусковит, гематит
ОУО АР	Каолинит, монтмориллонит	Хлорит, кальциевый полевой шпат
ОУО ЦОФ	Иллит-монтмориллонит	Кварц, гематит, полевой шпат, хлорит, бежит
Новокузнецкий суглинок	Гидромусковит, монтмориллонит, немного каолинита	Кварц, плагиоклаз, хлорит-вермикулит, К-шпат, кальцит, амфиболы
Бердский суглинок	Гидрослюда, каолинит	Кварц, полевой шпат, кальцит, хлорит

Таблица 5

Состав шихты, мас. %	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклы	Завод-изготовитель
		при сжатии	при изгибе				
ОЖР АОАФ – 70, суглинок – 20, стеклобой – 10	1742	24,9	3,1	0,52	12,6	50	БКЗ
ОЖР МОФ – 60, суглинок – 30, стеклобой – 10	1787	19,2	2,35	0,55	13,2	50	БКЗ
ОУО АР – 85, суглинок – 15	1595	11,2	4,1	0,45	17,4	25	БКЗ
ОУО ЦОФ – 85, суглинок – 15	1589	15,5	3,49	0,44	14,1	50	БКЗ
ОУО АР – 80, суглинок – 15, стеклобой – 5	1549	12,12	3,04	0,45	17,2	25	Красный кирпич

кладки толщиной 380 мм, состоящем из тычково-го и ложкового рядов испытуемого кирпича по ГОСТ 26254–84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче». По теплотехническим характеристикам исследованные кирпичи относятся к группе малоэффективных (обыкновенных) изделий и имеют эквивалентный коэффициент теплопроводности кладки в зависимости от условий эксплуатации $\lambda \geq 0,45$ Вт/(м·°С).

В результате заводских опытно-промышленных испытаний из гранулированных шихт на основе техногенного сырья был выпущен керамический кирпич, отвечающий требованиям ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» для следующих марок: кирпич пустотелый, рядовой, одинарный, размера 1НФ; М100–200; класс средней плотности – 2; марка по морозостойкости – F25, F50.

Для керамического кирпича на основе шламистой части отходов обогащения железных руд были проведены дополнительные испытания на удельную эффективную активность естественных радионуклидов ЕРН по ГОСТ 30108–94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов». Результаты испытаний приведены в табл. 6.

Исследования, выполненные в аккредитованном испытательном лабораторном центре Новокузнецкого филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области» (протокол № 689 от 26.01.2016 г.), показали, что суммарная удельная эффективная активность кирпича менее 370 Бк/кг, этот стеновой материал относится к первому классу и может использоваться в строительстве без ограничений.

Учитывая особенность химического состава техногенных отходов (табл. 1), содержащих растворимые

соли в виде сульфатов и карбонатов, были проведены исследования по образованию высолов на поверхности кирпича. На первом этапе определялось содержание водорастворимых солей в сырьевых компонентах шихты на основе железорудных отходов, а также изучалась способность их химического разложения в зависимости от температуры обжига. Исходя из содержания ионов в водной вытяжке было проведено связывание их в соли по принципу растворимости последних.

Содержание ионов в солевом составе водной вытяжки приведено в табл. 7.

Анализ водной вытяжки показал, что сухой остаток у суглинка не превышает 0,3%, а у отходов обогащения железных руд – 1%. Соответственно по степени засоления их можно отнести к незасоленной и средnezасоленной породам.

Суммарное содержание водорастворимых солей на 100 г вещества у суглинка составляет 3,38 мг-экв (без учета Na^+ и HCO_3^-), у отходов – 19 мг-экв, что в соответствии с требованиями ГОСТ 9169–75 «Сырье гли-

Таблица 6

Образец	Удельная активность радионуклидов химических элементов, Бк/кг			Суммарная удельная эффективная активность ($A_{\text{эфф}}$), Бк/кг
	Калий-40	Радий-226	Торий-232	
Кирпич ОЖР АОАФ	247,9	114,7	51,8	203,6
Кирпич ОЖР МОФ	172,6	58,1	47,3	166,4

Таблица 7

Материал	Содержание ионов, % (над чертой); мг-экв/100 г (под чертой)					
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Новокузнецкий суглинок	$\frac{0,0024}{0,04}$	$\frac{0,0004}{0,01}$	$\frac{0,098}{2,05}$	$\frac{0,02}{1}$	$\frac{0,0038}{0,32}$	$\frac{0,018}{0,78}$
ОЖР АОАФ	$\frac{0,0012}{0,02}$	$\frac{0,0028}{0,08}$	$\frac{0,524}{10,92}$	$\frac{0,1192}{5,96}$	$\frac{0,024}{2,04}$	$\frac{0,069}{3,02}$
Кирпич ОЖР АОАФ	$\frac{0,0012}{0,02}$	$\frac{0,0011}{0,03}$	$\frac{0,25}{5,2}$	$\frac{0,075}{3,76}$	$\frac{0,0098}{0,8}$	$\frac{0,016}{0,69}$

Таблица 8

Материал	Соли, %					Сухой остаток, %
	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	NaCl	
Новокузнецкий суглинок	0,0032	0,065	0,0192	0,055	0,0006	0,147
ОЖР АОАФ	0,0016	0,4039	0,1224	0,2087	0,0046	0,742
Кирпич ОЖР АОАФ	0,0016	0,2543	0,048	0,047	0,0017	0,357

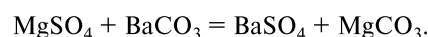
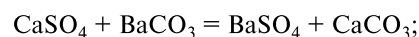
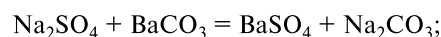
нистое для керамической промышленности. Классификация» соответствующим группам сырья с низким (менее 5 мг-экв) и высоким (более 10 мг-экв) содержанием водорастворимых солей.

Исследование химического разложения сульфатов в изделиях при различной температуре обжига приведено на рис. 1.

Анализ кривой падения количества водорастворимых солей показал, что значительное снижение содержания сульфатов начинается при 800°C, а при 1050°C сухой остаток уменьшается почти в два раза, с 0,62 до 0,35%. Очевидно, при обжиге происходит распад сульфатов, их превращение в сульфиты и сульфиды, которые легко разлагаются кремнекислотой.

На втором этапе проводилась проверка на появление высолов на поверхности кирпичей путем попеременного увлажнения и высушивания. На рис. 2 показано испытание кирпичей путем установки их на тычок, погружения в воду на 1/3 по высоте и постоянного обдува воздухом под вентилятором в течение суток. На кирпиче из отходов углеобогащения высолов не обнаружено. На поверхности кирпича из шламистой части отходов обогащения железных руд установлено появление незначительного количества высолов (рис. 2, б), что согласуется с анализом водной вытяжки сырьевых материалов.

Для устранения высолов необходимо использовать химический способ перевода сульфатов в нерастворимое состояние при помощи углекислого бария [10]. При этом протекают следующие реакции замещения щелочных и щелочно-земельных металлов:



Вследствие обменных реакций ионы SO₄²⁻ остаются в шихте связанными, а растворимые карбонаты металлов хотя и выходят с водой на поверхность изделия при сушке, в дальнейшем при обжиге легко реагируют с силикатами, выделяя углекислоту. Необходимое количество добавляемой соли бария можно определить из стехиометрического расчета [11].

В табл. 8 представлено процентное содержание сульфатов для шихты, состоящей из 70% ОЖР и 20% суглинка. Приняв расход шихты на производство одного кирпича формата 1НФ равным 3,5 кг, был определен расход углекислого бария на сульфат кальция — 15,6 г; 4,5 г на сульфат магния и 8 г на сульфат натрия. В результате на производство 1000 шт. кирпича потребуется 28 кг BaCO₃ для нейтрализации вредных солей.

Выводы.

Проведенные исследования эксплуатационных свойств керамического кирпича, выпущенного в заводских условиях, показали, что разработанный способ формирования матричной структуры стеновой керамики [12], обеспечивает получение керамических изделий, полностью отвечающих требованиям ГОСТ 530–2012 для марок М100–200 при максималь-

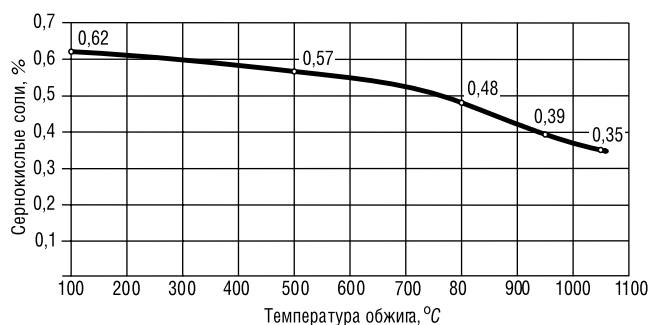


Рис. 1. Процентное содержание сернокислых солей в зависимости от температуры обжига керамического материала из шламистых железорудных отходов

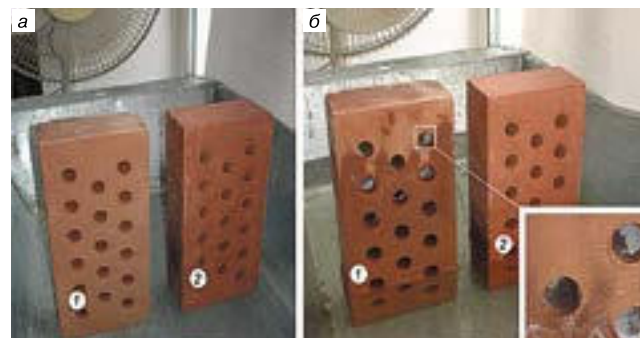


Рис. 2. Испытание керамического кирпича из шламистых железорудных отходов (1) и отходов углеобогащения (2) на образование высолов: а — внешний вид до испытаний; б — то же после испытаний

ном использовании техногенного сырья (70–85 мас. % в составе шихты).

Радиационная оценка керамического кирпича, изготовленного из рудных отходов, показала, что этот стеновой материал является безопасным ($A_{эфф} < 370$ Бк/кг) и может использоваться без ограничений для любых видов строительства.

Проверка возможного образования высолов путем попеременного увлажнения и высушивания показала незначительное их появление на поверхности кирпича из шламистого железорудного сырья, что прогнозируется анализом водной вытяжки отходов. Для устранения высолов можно использовать химический способ перевода сульфатов в нерастворимые соединения.

Применение техногенного сырья в производстве стеновых керамических материалов соответствует п. 6 «Рациональное природопользование» приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Реализация этого направления в промышленных регионах страны будет способствовать решению экономических и экологических проблем утилизации крупнотоннажных промышленных отходов.

Список литературы

1. Кондратенко В.А., Пешков В.Н. Проблемы кирпичного производства и способы их решения // *Строительные материалы*. 2002. № 3. С. 19–21.
2. Салахов А.М., Морозов В.П., Лис О.Н., Пасынков М.В. Керамические материалы из легкоплавких глин, модифицированных промышленными отходами предприятий нефтехимического комплекса // *Строительные материалы*. 2016. № 12. С. 46–50.
3. Клявлин М.С., Клявлиная Я.М., Самофеев Н.С., Шильдт Л.А., Гайнанова Э.С. Экономические аспекты определения стоимости строительства с применением инновационных материалов // *Наукоедение. Интернет-журнал*. 2017. № 2. С. 27.
4. 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.
5. Кара-Сал Б.К., Биче-Оол Н.М. Повышение качества кирпича комбинированием составов глинистых пород // *Строительные материалы*. 2006. № 2. С. 54–55.
6. Котляр В.Д., Терёхина Ю.В., Котляр А.В. Методика испытания камневидного сырья для производства стеновых керамических изделий компрессионного формования // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 24–27.
7. Столбоушкин А.Ю., Бердов Г.И., Верещагин В.И., Фомина О.А. Керамические стеновые материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья // *Строительные материалы*. 2016. № 8. С. 19–23.
8. Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И., Стороженко Г.И., Уразов С.И. Получение морозостойкого керамического кирпича полусухого прессования из промышленных отходов // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 4–7.
9. Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И., Пермяков А.А., Дружинин С.В. Петрографические исследования структуры керамического кирпича из отходов Коркинского угольного разреза // *Строительные материалы*. 2013. № 4. С. 49–53.
10. Альперович И.А., Бурмистров В.Н. Способы предотвращения высолов на глиняном кирпиче: Обзорная информация. Москва: ВНИИЭСМ, 1977. 56 с.
11. Инчик В.В. Высолы и солевая коррозия кирпичных стен. СПб.: СПбГАСУ, 1998. 324 с.
12. Патент РФ №2500647, МПК C1 C 04 B 33/132. Сырьевая смесь для изготовления стеновой керамики и способ ее получения / Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И., Иванов А.И. и др. Заявл. 20.04.2012. Оpubл. 10.12.2013. Бюл. № 34.

References

1. Kondratenko V.A., Peshkov V.N. Problems of brick production and ways to solve them. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2002. No. 3, pp. 19–21. (In Russian).
2. Salakhov A.M., Morozov V.P., Lis O.N., Pasyunkov M.V. Ceramic materials from low-melting clays modified by industrial wastes of enterprises of the petrochemical complex. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 12, pp. 46–50. (In Russian).
3. Klyavlin M.S., Klyavlina Ya.M., Samofeev N.S., Shildt L.A., Gaynanova E.S. Economic aspects of determining the cost of construction with the use of innovative materials. *Naukovedenie. Internet Journal*. 2017. No. 2, p. 27. (In Russian).
4. Yatsenko N.D., Zubehin A.P. Scientific bases of innovative technologies of ceramic bricks and the management of its properties depending on chemical and mineralogical composition of materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 28–31. (In Russian).
5. Kara-sal B.K., Biche-ool N.M. Improving the quality of bricks by combining clay formulations. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 2, pp. 54–55. (In Russian).
6. Kotlyar V.D., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V. Methods of testing lithoidal raw materials for producing wall ceramic products of compression molding (as a discussion). *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 24–27. (In Russian).
7. Stolboushkin A.Yu., Berdov G.I., Vereshchagin V.I., Fomina O.A. Ceramic wall materials with matrix structure based on non-sintering stiff technogenic and natural raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 8, pp. 19–23. (In Russian).
8. Stolboushkin A.Yu., Storozhenko G.I. Production of frost-resistant ceramic brick of semidry pressing from industrial waste. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 12, pp. 4–7. (In Russian).
9. Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Permyakov A.A., Druzhinin S.V. Petrographic study of the ceramic brick structure produced from the waste of Korkinskiy coal open pit mine. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 4, pp. 49–53. (In Russian).
10. Alperovich I.A., Burmistrov V.N. Sposoby predotvrashcheniya vysolov na glinyanom kirpiche. *Obzornaya informatsiya*. [Ways to prevent salt formation on clay bricks. Overview information]. Moscow: VNIIMSM. 1977. 56 p.
11. Inchik V.V. Vysoly i solevaya korrozziya kirpichnykh sten [Salt formation and salt corrosion of brick walls]. St. Petersburg: SPbGASU. 1998. 324 p.
12. Patent RF No.2500647, IPC C1 C 04 B 33/132. Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya stenovoi keramiki i sposob ee polucheniya [Feedstock mixture for the production of wall ceramics and the method of its production]. Stolboushkin A.Yu., Storozhenko G.I., Ivanov A.I. and others. Declared 20.04.2012. Published 10.12.2013. Bulletin No. 34.