

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!

HRIZOPRO

СТАБИЛИЗИРУЮЩАЯ ДОБАВКА
В ЦМА



8 - 800 - 200 - 53 - 10



ht@orenmin.ru



www.hrizopro.ru

Мы всегда там, где это необходимо!

После трех десятилетий опыта и проектов в более чем 40 странах мира, мы продолжаем динамично развиваться!



Завершенных Проектов 2016-2017

Алжир: • Briqueterie Nouvelle De L'Ouest • Sarl BGO • Sarl Briqueterie Redland
Бельгия: • Dumoulin | Великобритания: • Ibstock Brick | Кипр: • Kerameio Ledra
Курдистан: • Halabja Group | Мексика: • Ladrillera Mecanizada | Румыния: • Cemacon
Чехия: • Holice, Wienerberger • Novosedly, Wienerberger | Сербия: • Zorka Opeka
Швейцария: • ZZ Wancor, Wienerberger | Турция: • Kilsan Tuğla • Yurtbay Tuğla • Delta



Доверьтесь надежному партнеру!

 **SABO** S.A.
brick & tile

34002 Василико - Халкис, Эвбея - Греция | Тел.: +30 22210 51805-9, Факс: +30 22210 54073 | Тел Россия: +7 9177639569
e-mail: sb_sales@sabo.gr | www.sabo.gr



BEDESCHI



SINCE 1908...

TAKING THE BEST FROM THE PAST TO BUILD THE FUTURE

Bedeschi is today the only company mastering in house the design, manufacturing and installation of the entire plant. Bedeschi can supply a full set of services, from the simple machine to a complete "turn key" green field installation.

www.bedeschi.com



BRICKS



BULK HANDLING



CRUSHING



MARINE



CONTAINER LOGISTICS



GAS CLEANING

подробнее читайте на стр. 57

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®

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

№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 глины 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. СМИРНОВА, И.П. ФЕДОСЕЕВА

Буроинъекционная 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

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROYMATERIALY®

№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 Ceramics.....14

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 Treatment.....18

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 Studies.....37

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 Structure.....47

L.I. KHUDYAKOVA, O.V. VOYLOSHNIKOV
Prospects of the Use of Serpentinous Rocks as a Mineral Powder for Asphalt Concrete.....50

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-Fibers.....54

Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Highway,
127434, Moscow, Russian Federation
Tel./fax: (499) 976-22-08, 976-20-36
Email: mail@rifsm.ru http://www.rifsm.ru/

The authors of published materials are responsible for the accuracy of the submitted information, the accuracy of the data from the cited literature and for using in articles data which are not open to the public. The Editorial Staff can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author. Reprinting and reproduction of articles, promotional and illustrative materials are possible only with the written permission of the editor-in-chief. The Editorial Staff is not responsible for the content of advertisements and announcements.

Строительные материалы № 9

Результаты научных исследований

В.А. ГУРЬЕВА, А.И. КУДЯКОВ, Т.К. БЕЛОВА

Совершенствование технологии приготовления цементного раствора с модифицированными базальтовыми микроволокнами 54

Г.И. ЯКОВЛЕВ, А.А. ВДОВИН, А.Ф. ГОРДИНА, А.Н. ЗОРИН, С.А. ПОТОРОЧИНА

Влияние комплексной добавки на основе отходов асбестоцементных изделий и автопокрышек на свойства мелкозернистых бетонов 58

Л.С. СКАМНИЦКАЯ, Т.П. БУБНОВА, С.А. СВЕТОВ

Перспективы использования архейских силицитов центральной Карелии (Эльмусская и Койкарская структуры) для производства строительных материалов 62

Н.И. МОТОРНЫЙ

Техногенная нарушенность камня при его добыче и обработке 67

Stroitel'nye Materialy No. 9

G.I. YAKOVLEV, A.A. VDOVIN, A.F. GORDINA, A.N. ZORIN, S.A. POTORochina

Influence of a Complex Additive on the Basis of Asbestos-Cement Waste and Automobile Tires on Properties of Fine Concretes 58

L.S. SKAMNITSKAYA, T.P. BUBNOVA, S.A. SVETOV

Prospects of the Use of Archean Silicites of Central Karelia (Elmusskaya and Koykarskaya Structures) for Producing Building Materials 62

N.I. MOTORNY

Anthropogenic Broken Condition of Stone in the Course of Its Extraction and Treatment 67

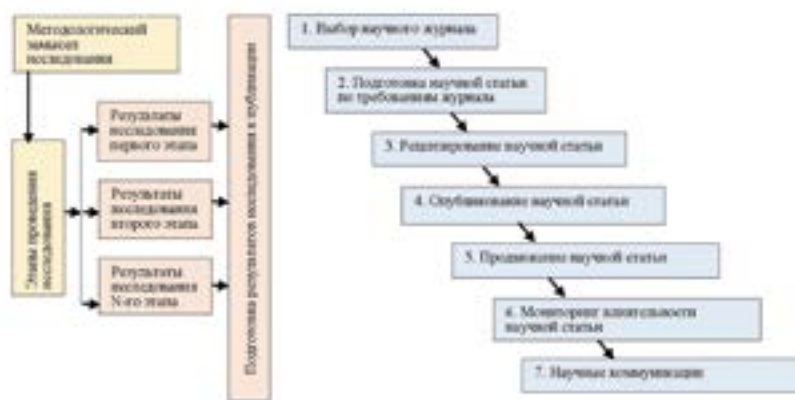
Как писать статьи в журналы, индексируемые в международных наукометрических базах данных – рекомендует Минобрнауки РФ

Министерство разработало краткие рекомендации для авторов по подготовке и оформлению научных статей в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах данных (<http://xn--80abucjiibhv9a.xn--p1ai/m/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81-%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80/9481>).

Рекомендации подготовлены коллективом авторов под общей редакцией О.В. Кирилловой и при поддержке Ассоциации научных редакторов и издателей. В них детально объясняется публикационный процесс, процедуры рецензирования и опубликования, а также общепринятые требования к структуре научной статьи.

Детально рассмотрены разделы научной статьи, этапы подготовки рукописи.

Особое внимание уделено цитированию и составлению списка литературы, который Юджин Гарфилд, создатель Института научной информации США и платформы Web of Science, называл сырьем для анализа цитирования («Reference lists are the raw material for carrying out citation analyses»). Большой интерес представляет сводная информация по международным стилям оформления ссылок. Это важно учитывать при подготовке статей в различные зарубежные журналы.



Для многих авторов будет полезен раздел, посвященный продвижению своих научных статей, о котором рекомендуется думать еще до публикации. Рекомендации для авторов по подготовке и оформлению научных статей в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах данных, нацелены на помощь научным работникам и повышение их публикационной активности.



Международная научно-практическая конференция «Развитие керамической промышленности России» 15 лет с отраслью

14–15 июня 2017 г. в столице Чувашской Республики Чебоксарах состоялась XV Международная научно-практическая конференция «Развитие керамической промышленности России: KERAMTЭКС-2017». В ее работе приняли участие более 200 руководителей и ведущих специалистов кирпичных заводов, представителей машиностроительных фирм и инжиниринговых компаний, ученых отраслевых исследовательских и учебных институтов из 28 регионов России и 12 зарубежных стран.



Знак благодарности за 15-летнее сотрудничество вручен региональному управляющему «ЛСР. Стеновые» И.А. Мальцеву



Совместная работа была интересной и очень плодотворной. Менеджер по продажам фирмы «БЕДЕСКИ» от лица компании благодарит директора завода «КЕТРА» М.С. Андреева

За 15 лет проведения главного форума российских кирпичников Научно-практическая конференция «Перспективы развития керамической промышленности России», впервые проведенная в 2003 г. по инициативе редакции журнала «Строительные материалы»® и поддержанная Госстроем России, развилась в Международный информационно-аналитический проект KERAMTЭКС, включающий Международную научно-практическую конференцию «Развитие керамической промышленности России», научно-технические семинары для предприятий средней и малой мощности, издание специальной литературы по строительной керамике, посещение зарубежных кирпичных и машиностроительных заводов, участие в специализированных выставках машин, оборудования и технологий для керамической промышленности.

Участники МИАП KERAMTЭКС посетили более 20 кирпичных предприятий в Московской области, Калужской области, Санкт-Петербурге и Ленинградской области, Татарстане, Ярославле, Краснодаре, Ростове-на-Дону, Омске, Челябинске, Новосибирске, г. Чайковском Пермского края, Чебоксарах, и более 15 зарубежных кирпичных и машиностроительных заводов в Германии, Италии, Франции, Чехии, Греции, Китае.

Постоянными партнерами МИАП KERAMTЭКС стали крупнейшие профильные выставочные форумы Tecnargilla (Италия), CERAMITEC (Германия), Ceramic China (Китай).

С первой конференции ее бессменным генеральным спонсором является «ЛСР. Стеновые». Редакция, оргкомитет и участники сердечно благодарят лично Сергея Анатольевича Бегоулева за многолетнее партнерство и поддержку.

Зарубежные машиностроительные и инжиниринговые компании, поставляющие оборудование на российские кирпичные заводы, с первых лет проведения KERAMTЭКС оценили его высокую эффективность и статус, поэтому постоянно выступают спонсорами и партнерами конференции.

В год 15-летия спонсором стала итальянская компания BEDESCHI S.p.A («БЕДЕСКИ», Италия), оборудование которой установлено на кирпичном заводе «КЕТРА». Участники конференции посетили его в рамках выездной сессии.

Чувашская Республика – относительно небольшая, ее территория составляет 18,3 тыс. км², на которых проживает 1,24 млн человек. Она занимает 6-е место в экологическом рейтинге РФ и 2-е место в Национальном рейтинге состояния инвестиционного климата. Ключевыми отраслями экономики являются электротехника, машиностроение, химическая промышленность, сельское хозяйство, оборонно-промышленный комплекс, солнечная энергетика. Строительный комплекс Чувашии составляет примерно 10% ВВП республики. В него входят порядка 3 тыс. организаций. 193 предприятия занимаются производством строительных материалов (172 из них малые). Малыми предприятиями выполняется более 60% строительно-монтажных работ и выпускается около 15% строительных материалов. В строительном комплексе занято более 33,2 тыс. человек, в том числе более 27,4 тыс. – в строительных организациях и около 5,7 тыс. чел. – в производстве строительных материалов. Потенциал строительного комплекса – более 1 млн. м² жилья в год.



От Правительства Чувашской Республики участников KERAMTЭКС-2017 приветствовали первый заместитель министра строительства, архитектуры и ЖКХ М.В. Иванов (в центре) и заместитель министра экономического развития, промышленности и торговли С.В. Григорьев





Оргкомитет конференции всегда учитывает конструктивные предложения участников, чтобы КЕРАМТЭКС остался самым эффективным отраслевым мероприятием. Традиционно программа пленарного заседания насыщена докладами. В этом году оно было разделено на два дня. Всего заслушано более 30 докладов и сообщений, освещающих весь цикл производства строительной керамики от добычи и подготовки глинистого сырья до упаковки готовой продукции, однако преобладали доклады о повышении качества кирпича и расширении ассортимента. Участники конференции неоднократно отмечали, что производят высококачественную продукцию имеют возможность практически все заводы как недавно построенные, так и прошедшие модернизацию. Однако вопрос сбыта обостряется на фоне растущей конкуренции с другими стеновыми материалами и строительными технологиями, такой вывод сделал постоянный участник конференции генеральный директор маркетинговой компании «ГС-Эксперт» А.А. Семёнов.

Директор по маркетингу «ЛСР. Стеновые» А.Ю. Онищенко отметил, что в 2016 г. ввод жилья в РФ сократился на 6,5% до 79,8 млн м², при этом объем производства керамического кирпича в России сократился на 18% и составил 6,3 млрд шт. усл. кирпича. При рассмотрении динамики выпуска различных видов кирпича очевидно, что темпы падения производства рядового кирпича выше, чем облицовочного. В структуре видов фасадов в настоящее время преобладают навесные вентилируемые (32%), что неудивительно, учитывая постоянно ужесточающийся требования по теплозащите зданий. Кирпичные фасады удерживают второе место – 30%, 25% составляют оштукатуренные фасады, 12% – крупнопанельные. Приведенные данные показывают, что у керамического кирпича неплохие шансы побороться за часть доли навесных вентилируемых фасадов.



С сожалением узнали участники конференции, что наша коллега и друг, менеджер всех российских проектов компании «ЛИНГЛ» Илья Альберт уходит на заслуженный отдых. Однако, для сопровождения новых крупных проектов в России руководство компании планирует привлечь ее к работе, отметил Т. Дизенбахер. А свой доклад коллеги посвятили использованию промышленных роботов в кирпичной промышленности. Был отмечен стремительный рост роботизации производства. Так в 2009 г. в промышленности работало около 60 тыс. роботов, в 2015 г. их было уже 250 тыс., а к 2018 г. специалисты прогнозируют увеличение парка роботов до 2,3 млн. единиц (International Federation of Robotics (IFR), 2016 г.). Компания «ЛИНГЛ» впервые применила роботы в 1993 г. на линии по производству комплектующих для черепичной промышленности, завод Creaton Gro engotttern (Германия). С тех пор в проектах компании задействовано уже 763 робота, в том числе на Губском КЗ, заводе «ЛСР» в Никольском, заводе «КЕММА» в Челябинске и др.



С сожалением узнали участники конференции, что наша коллега и друг, менеджер всех российских проектов компании «ЛИНГЛ» Илья Альберт уходит на заслуженный отдых. Однако, для сопровождения новых крупных проектов в России руководство компании планирует привлечь ее к работе, отметил Т. Дизенбахер. А свой доклад коллеги посвятили использованию промышленных роботов в кирпичной промышленности. Был отмечен стремительный рост роботизации производства. Так в 2009 г. в промышленности работало около 60 тыс. роботов, в 2015 г. их было уже 250 тыс., а к 2018 г. специалисты прогнозируют увеличение парка роботов до 2,3 млн. единиц (International Federation of Robotics (IFR), 2016 г.). Компания «ЛИНГЛ» впервые применила роботы в 1993 г. на линии по производству комплектующих для черепичной промышленности, завод Creaton Gro engotttern (Германия). С тех пор в проектах компании задействовано уже 763 робота, в том числе на Губском КЗ, заводе «ЛСР» в Никольском, заводе «КЕММА» в Челябинске и др.

Директор по маркетингу «ЛСР. Стеновые» А.Ю. Онищенко отметил, что в 2016 г. ввод жилья в РФ сократился на 6,5% до 79,8 млн м², при этом объем производства керамического кирпича в России сократился на 18% и составил 6,3 млрд шт. усл. кирпича. При рассмотрении динамики выпуска различных видов кирпича очевидно, что темпы падения производства рядового кирпича выше, чем облицовочного. В структуре видов фасадов в настоящее время преобладают навесные вентилируемые (32%), что неудивительно, учитывая постоянно ужесточающийся требования по теплозащите зданий. Кирпичные фасады удерживают второе место – 30%, 25% составляют оштукатуренные фасады, 12% – крупнопанельные. Приведенные данные показывают, что у керамического кирпича неплохие шансы побороться за часть доли навесных вентилируемых фасадов.



На 15-м КЕРАМТЭКСе греческая компания «САБО» отметила своеобразный юбилей – 10-летие участия в конференции. Коммерческий представитель компании Я. Гуруванов (справа) тепло поблагодарил коллег за годы сотрудничества и дружбы, а также представил завершённые проекты компании последних лет



Научные «основы» керамики – ученые из Оренбурга, Казани, Ростова-на-Дону, Новокузнецка с главным редактором журнала «Строительные материалы»



Свое видение современной экономической модели развития строительного рынка предложил начальник отдела по работе с ключевыми клиентами ООО «ТД «ТУС» С.Н. Забелин. Он отметил, что действующие бизнес-модели стали недостаточно эффективны на фоне падения объемов строительства и стагнирующего рынка. Новым шагом развития бизнеса может стать создание единой глобальной торговой сети (ЕГТС), которая объединит всех участников строительной сферы. Созданная ЕГТС «КЕТРА» уже показала преимущества для всех участников. В нее вовлечены производители комплектных материалов, торговые и строительные организации, для которых работает единый колл-центр, интернет-магазин, обеспечивая юридическое сопровождение сделок и др.



Директор компании «Эстезо трейд» О.Н. Абакумова представила на конференции итальянские компании «Маркелуццо», «СМАК» и «Колоробия»



В.Ю. Кузьмин, директор компании «Хендле-Урал», представил концепцию разработки форм и оснастки для производства крупноформатных блоков, отвечающих современным требованиям по прочности и теплопроводности

Один из первых участников КЕРАМТЭКС Марко Брайтенмозер («Фрейматик», Швейцария) (слева) представил коллегам своего нового партнера в России А.М. Синютина, генерального директора компании «СоюзМашМеталл», которая занимается поставкой запасных частей для промышленного оборудования





Чешская компания AWELD открыла представительство ООО «АВЕЛЬД-Р», расположенное в г. Ржев Тверской области. Ее генеральный директор А.Л. Шульц рассказал о возможностях компании по поставке нового оборудования, обеспечению запасными частями и ремонте эксплуатируемых машин



И.М. Пуртов, технический директор завода «КЕРМА», много лет принимает участие в конференции. Однако в этом году он впервые представил доклад о применении тетраоксида марганца различных производителей на своем предприятии



Португальская компания Metalcertima основана в 1977 г. и вначале специализировалась на ремонте и обслуживании оборудования керамической промышленности, а затем перешла на производство собственного оборудования для стеновой керамики. Филиппе МАЙА, управляющий, приехал на КЕРАМТЭКС впервые «на разведку»



Е. Бережиани, представитель в России и странах СНГ французской компании «КЛЕЯ», постоянный участник конференции. Стратегия компании в настоящее время нацелена на снижение энергопотребления и сохранение природных ресурсов. Например, сушилка Energy Delta T позволяет сэкономить до 15% энергозатрат по отношению к классической камерной сушилке. В тепловых агрегатах предусматривается возможность сжигания биомассы. На гала-ужин Евгений надел галстук, подаренный организаторами всем участникам, с ручной национальной вышивкой, символизирующей благополучие и удачу



Гостеприимные хозяева встречали гостей согласно чувашской традиции и подготовили концертную программу, включавшую выступления детского танцевального коллектива



Перед посещением завода – приветствие директора ЗСК «КЕТРА» Д.Н. Угаслова



В июле 2016 г. группа SACMI полностью выкупила компанию Cosmes, специализирующуюся в области автоматических систем перемещения, осуществив слияние технического опыта и инновационных решений. О перспективах развития компании в области строительной керамики рассказал управляющий отделением грубой керамики «САКМИ» С. Ланцони (справа)



Оборудование испанской компании «БЕРАЛМАР» успешно эксплуатируется на заводе «Экоклинкер», который участники конференции посетили в рамках выездной сессии. О технологии и оборудовании для качественной сушки и обжига клинкерного облицовочного кирпича, а также клинкерной брусчатки и плитки рассказал менеджер по продажам «БЕРАЛМАР» Ю. Зиняк



Пигментам и технологии окрашивания облицовочного кирпича и клинкера было посвящено несколько докладов. Один из них, об окраске кирпича ангобами, представил Т. ГУТ, менеджер по продажам компании «ФЕРРО» (Германия), впервые участвующей в конференции КЕРАМТЭКС



На заводе «Экоклинкер» участники конференции познакомились с широким ассортиментом выпускаемой продукции, осмотрели лабораторию и производство



По традиции во время гала-ужина оргкомитет КЕРАМТЭКС вручает памятные знаки «Признание профессионального сообщества» – выражение уважения и признательности за высокий профессионализм и верность делу, которому мы все служим. В этом году памятный знак «Гвардия керамической промышленности» был вручен двум очаровательным женщинам: директору «Научный центр керамики ВНИИСТРОМ», президенту Ассоциации производителей керамических материалов Г.Я. Дуденковой и менеджеру проектов компании «ЛИНГЛ» Ильке Альберт, которая начала сотрудничество с журналом «Строительные материалы»[®] еще в советское время, со строительством первых заводов компании в России.



***Пятнадцатый раз встретились коллеги на конференции КЕРАМТЭКС.
Пятнадцатый раз прощались..., конечно, до новой встречи. Оставайтесь вместе! Оставайтесь с нами!***



40 лет славной истории. Уверенность в будущем



Норский керамический завод отметил 40-летие! Он был введен в эксплуатацию 1 июля 1977 г. Это первый в Советском Союзе кирпичный завод, полностью оснащенный импортным оборудованием.

В настоящее время одно из крупнейших предприятий России по выпуску керамического кирпича высокого качества. Ассортимент выпускаемой продукции позволяет комплектовать строительные объекты от фундамента до кладки и облицовки стен. Вся продукция завода сертифицирована в системе ГОСТ-Р Госстандарта России. География применения кирпича Норского завода, помимо Ярославской области, охватывает практически все регионы от Калининграда до Сочи и Владивостока. Норский кирпич есть даже на Новой Земле!

За последние годы проделана огромная работа по совершенствованию технологии, модернизации и замене на новое, более прогрессивное, технологическое оборудование. Это позволило значительно увеличить объем производства – выпуск кирпича в 2011 г. составлял 82 млн шт. усл. кирпича, а с 2015 г. – более 100 млн шт. усл. кирпича. Улучшилось и качество, выпуск лицевого кирпича составляет более 95%. С 2016 г. завод значительно расширил цветовую гамму лицевого кирпича, теперь потребителям предлагается более 10 оттенков – от темно-коричневого до светло-серого.

Сбытовая политика предприятия ориентирована в первую очередь на работу со строительными компаниями Ярославля и области – более 50% выпускаемой продукции используется ярославскими строителями. Тесное сотрудничество и партнерство привело к реализации таких проектов, как микрорайон «Норские резиденции», «ЖК Престиж» на ул. Слепнева, «Старое Брагино», «Солнечный Берег», «Клубный дом» и многие др. В общей сложности за 40 лет заводом выпущено более 3 млрд 100 млн шт. кирпича. Этого количества хватило бы для строительства большого города областного значения.

На предприятии одной из первых в регионе введена в эксплуатацию собственная газопоршневая мини-ТЭЦ, полностью обеспечивающая потребности завода в электроэнергии. Заводская котельная обеспечивает тепловой энергией и горячим водоснабжением жилые дома и всю социальную сферу поселка Норское.

С 1999 г. руководит заводом генеральный директор, Заслуженный строитель Российской Федерации – Марченко Юрий Иванович. Неоднократно Норский керамический завод становился победителем конкурса «Лучшее предприятие города Ярославля», а генеральный директор Юрий Иванович Марченко – победителем конкурса «Руководитель года города Ярославля». В 2013 и 2015 гг. завод был удостоен звания «Лучшее предприятие Ярославской области».

Норский керамический завод – постоянный участник и дипломант конкурса на лучшее предприятие промышленности строительных материалов и стройиндустрии. По итогам работы за 2012 г. получен диплом Министерства регионального развития Российской Федерации и Российского союза строителей, подтверждающий присвоение заводу звания «Элита строительного комплекса России».

Большое внимание уделяется развитию социальной сферы. У завода есть собственный стадион, проводятся соревнования по волейболу, футболу, зимой действует освещенная лыжная трасса, где занимаются не только работники предприятия, но и жители поселка Норское и ежегодно проходит «Норская лыжня».

На охрану труда, санаторно-курортное лечение, детские оздоровительные лагеря, погашение процентов по ипотечным кредитам работникам предприятия, благотворительные нужды и др. ежегодно расходуются более 16 млн р.

На заводе работает дружный коллектив высококвалифицированных специалистов, труд которых оценен по достоинству – 10 человек награждены знаком «Почетный строитель Российской Федерации», 15 человек почетными грамотами Министерства строительства РФ.

По традиции праздновали 40-летие завода всем коллективом с друзьями и партнерами. А как же иначе?

Редакция журнала «Строительные материалы»[®], оргкомитет и участники МИАП КЕРАМТЭКС от души поздравляют коллег с 40-летием. Желают успехов, благополучия и процветания!



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 малозффективных изделий и имеют эквивалентный коэффициент теплопроводности кладки более 0,45 Вт/(м·°С). 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: Stolbovushkin 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, бемит
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 особенности 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)					
	НСО ₃ ⁻	Сl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Новокузнецкий суглинок	<u>0,0024</u> 0,04	<u>0,0004</u> 0,01	<u>0,098</u> 2,05	<u>0,02</u> 1	<u>0,0038</u> 0,32	<u>0,018</u> 0,78
ОЖР АОАФ	<u>0,0012</u> 0,02	<u>0,0028</u> 0,08	<u>0,524</u> 10,92	<u>0,1192</u> 5,96	<u>0,024</u> 2,04	<u>0,069</u> 3,02
Кирпич ОЖР АОАФ	<u>0,0012</u> 0,02	<u>0,0011</u> 0,03	<u>0,25</u> 5,2	<u>0,075</u> 3,76	<u>0,0098</u> 0,8	<u>0,016</u> 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

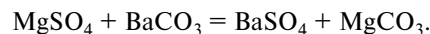
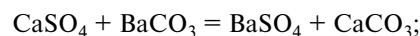
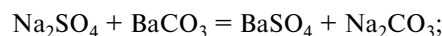
нистое для керамической промышленности. Классификация» соответствующим группам сырья с низким (менее 5 мг-экв) и высоким (более 10 мг-экв) содержанием водорастворимых солей.

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-

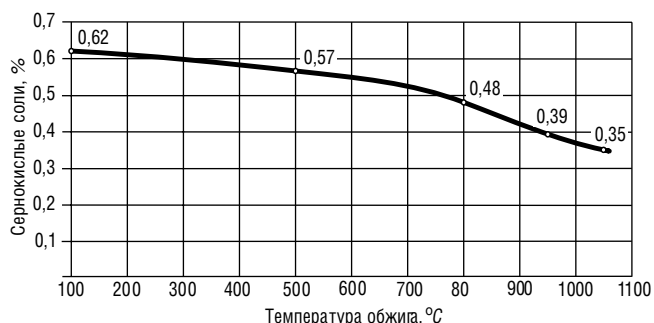


Рис. 1. Процентное содержание сернокислых солей в зависимости от температуры обжига керамического материала из шламистых железорудных отходов

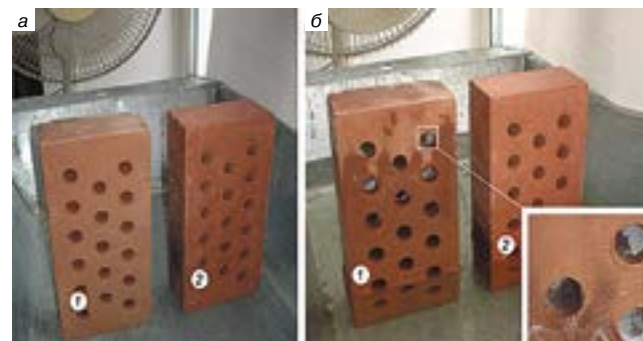


Рис. 2. Испытание керамического кирпича из шламистых железорудных отходов (1) и отходов углеобогащения (2) на образование высолов: а – внешний вид до испытания; б – то же после испытаний

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 // *Науковедение. 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 С1 С 04 В 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., Pasyнков 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.

А.Н. БОГДАНОВ, канд. техн. наук (bogdanovAN@kgasu.ru),

Л.А. АБДРАХМАНОВА, д-р техн. наук (laa@kgasu.ru), В.Г. ХОЗИН, д-р техн. наук (khozin@kgasu.ru)

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

Модификация кирпичных суглинков многослойными углеродными нанотрубками для выпуска стеновой керамики

В качестве альтернативы модификации кирпичных суглинков пластичными глинами предложена технология модификации глинистого сырья многослойными углеродными нанотрубками. Рассмотрена технология их введения в состав глинистой массы в виде дисперсий в растворах поверхностно-активных веществ. Изучена микроструктура сырца и керамического черепка в присутствии оптимального количества наномодификатора. Применение на практике предлагаемой технологии позволит отказаться от разработки предприятиями нескольких карьеров в пользу более технологичных модифицирующих добавок, снизить объем грузоперевозок и нагрузку на дороги общего пользования, улучшив экологию региона. Представлены результаты промышленной апробации разработанных рекомендаций при производстве керамического полнотелого кирпича. Технический эффект заключается в улучшении сушильных свойств, снижении времени на сушку сырца, улучшения внешнего вида и повышения эксплуатационных показателей стеновой керамики при использовании малых количеств модифицирующих добавок.

Ключевые слова: керамика, многослойные углеродные нанотрубки, поверхностно-активное вещество, глинистое сырье, экологичность.

Для цитирования: Богданов А.Н., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г. Модификация кирпичных суглинков многослойными углеродными нанотрубками для выпуска стеновой керамики // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 14–17.

A.N. BOGDANOV, Candidate of Sciences (Engineering) (bogdanovAN@kgasu.ru),

L.A. ABDRAKHMANOVA, Doctor of Sciences (Engineering) (laa@kgasu.ru), V.G. KHOZIN, Doctor of Sciences (Engineering) (khozin@kgasu.ru)

Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

Modification of Brick Loams with Multi-Layer Carbon Nano-Tubes for Production of Wall Ceramics

The technology of the modification of clayey raw material with multi-layer nano-tubes is proposed as an alternative to the modification of brick loams with plastic clays. The technique of their introduction in the composition of clay mass in the form of dispersions in surfactant solutions is considered. The micro-structure of an adobe and ceramic body in the presence of an optimal amount of a nano-modifier was studied. The practical application of the proposed technology makes it possible to abandon the development of several quarries by enterprises in favor of more technological modifying additives, reduce the load on public roads and improve the region ecology. Results of the industrial approbation of developed recommendations when producing the ceramic whole brick are presented. The technical effect is in improving drying properties, reducing the time for adobe drying, improving the appearance and improving operational indicators of wall ceramic when using small amounts of modifying additives.

Keywords: multi-layer carbon nano-tubes, surfactants, argillous raw material, ecological compatibility.

For citation: Bogdanov A.N., Abdрахmanova L.A., Khozin V.G. Modification of brick loams with multi-layer carbon nano-tubes for production of wall ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 14–17. (In Russian).

Керамика – один из древнейших рукотворных каменных материалов, применяемых в строительстве более тысячи лет. Вплоть до настоящего времени технология производства стеновых керамических материалов принципиально не менялась. При этом постоянно растут требования к конструкционным материалам, в особенности в отношении снижения их массы при сохранении прочностных характеристик. ГОСТ 530–2012 вводит достаточно новое для России понятие «кирпич» – высокопрочная керамика (марка до М1000) с низким водопоглощением (не более 6%); широко выпускается многопустотная керамика.

На современных керамических заводах-автоматах подготовка состава шихты основана на коррекции ее основных свойств: для улучшения пластических свойств глинистой массы вводятся более «жирные» глины; для улучшения сушильных свойств сырца вводятся «тощие» суглинки, кварцевый песок, опила; для улучшения теплоизоляционных свойств черепка вводятся опила, уголь, шелуха, дегидратированная глина и т. д. Перечисленные добавки могут выполнять и полифункциональное назначение. В результате шихта становится многокомпонентной, причем во всех случаях подобные модификации проводятся добавками в объемах от 15 до 50%, что в результате снижает долю местного глинистого сырья, приводя к удорожанию сырьевой составляющей в себестоимости. Доставка многотоннажных добавок на заводы стеновой керамики осуществляется наземным транс-

портом с плечом до 1000 км и более, что повышает нагрузку на экологию и дорожное хозяйство в регионе. Так, для завода стеновой керамики мощностью 60 млн шт. усл. кирпича в год каждый процент (по массе) вводимых в шихту добавок приводит к необходимости перевозки более 1,5 тыс т сырья.

Ввиду постепенного истощения запасов качественного глинистого сырья и широкого распространения тощих, чувствительных к сушке суглинков доступные способы модификации глинистой шихты позволяют добиться, помимо экономического эффекта для конкретного предприятия, улучшения экологической ситуации региона и снизить нагрузку на дороги общего пользования.

В качестве альтернативы многотоннажным добавкам рассмотрена наномодификация глинистого сырья, в частности многослойными углеродными нанотрубками (МУНТ).

Идея применения нанотрубок для улучшения эксплуатационных свойств строительных материалов, и в частности керамики, не нова. Например, известны работы [1–4] по применению суперпластификаторов СП-1 совместно с УНТ или водной дисперсии МУНТ+КМЦ (карбоксиметилцеллюлоза).

Результатом наномодификации [1] легкоплавкой глины углеродными нанотрубками совместно с суперпластификатором СП-1 стало повышение прочности и плотности, снижение водопоглощения керамических стеновых изделий. Основной недостаток подобной мо-

Таблица 1

Химический состав суглинка 2-го уступа Яушского месторождения

Содержание в % на массу абсолютно сухой навески												
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	ППП	
63,54	0,97	16,86	6,52	0,11	0,82	1,41	1,02	3,23	0,01	<0,05	5,55	

Таблица 2

Минеральный состав суглинка 2-го уступа Яушского месторождения

Содержание в % на массу абсолютно сухой навески				
Смешанослойный иллит-сметтит	Слюда	Каолинит-хлорит	Кварц	Полевые шпаты
23	4	2	37	28

Таблица 3

Влияние модификатора на свойства образцов после обжига (1000°C)

Состав		Показатели черепка				
Содержание глина/песок, %	Содержание модификатора сверх массы, %	Общая усадка, %	Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	Морозостойкость, цикл
100/0	–	11,0	1680	35,7	11,8	30
85/15	–	10,6	1790	30,4	11,5	35
100/0	0,01	12,1	1770	45	8,5	>50
85/15	0,01	11,8	1790	42,4	12	>50

дификации – многокомпонентность шихты, рекомендованной к внедрению, так как помимо легкоплавкой глины и перечисленных модификаторов, она включает еще огнеупорную глину, перлит и доломитовую муку.

Достаточно широкие исследования проведены по модификации глинистых масс водными дисперсиями МУНТ+КМЦ [2]. В лабораторных условиях авторам удалось добиться прироста прочности до 38,6% наряду со снижением уровня водопоглощения черепка после обжига при 1000 и 1050°C, причем сделано заключение, что в подобной композиции добавка КМЦ не оказывает никакого влияния на плотность и эксплуатационные свойства керамического камня, а выступает только носителем МУНТ. В реальных условиях получить положительные результаты, однако, не удалось, что объяснено сложностью распределения МУНТ по объему глинистой шихты.

В данной работе для решения проблемы распределения наночастиц в матрице модифицируемого материала в качестве диспергирующей фазы также использованы поверхностно-активные вещества (ПАВ), а именно модификатор фирмы «Arkema», представляющий собой привитой сополимер акрилового поликарбоксилата и полиэтиленгликоля (Ethasyl), стабилизированный хлоридом натрия, допированный 0,1% МУНТ.

Многочисленные лабораторные и промышленные испытания показали, что при незначительных изменениях в технологии и режимах производства керамики модификация подобной композицией в количестве 0,01–0,1 мас. % от сырья [3] позволяет повысить прочностные свойства обожженного керамического камня. В качестве примера представлены результаты на основе глинистого сырья 2-го уступа Яушского месторождения Республики Чувашия (химический и минеральный составы приведены в табл. 1 и 2). Помимо улучшения пластических свойств глинистых масс, наблюдается улучшение су-

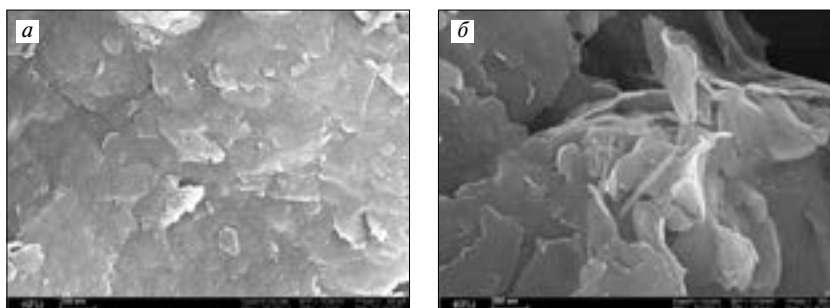


Рис. 1. Электронные фотографии сырья исходного (а) и модифицированного глинистого сырья 2-го уступа Яушского месторождения (б)

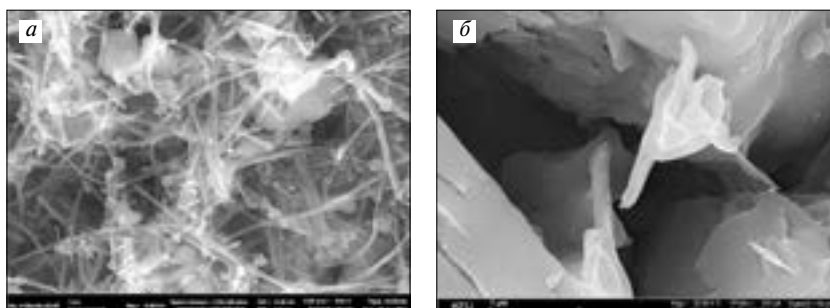


Рис. 2. Электронные фотографии многослойных нанотрубок (а) и модифицированного черепка из глины 2-го уступа Яушского месторождения (б)

шных свойств, в том числе уменьшение времени, требуемого на сушку единицы продукции, что обуславливает повышение энергоэффективности производства.

Технический эффект от введения МУНТ в глинистое сырье заключается в повышении прочностных показателей керамики (табл. 3).

В ряде исследований [5, 6] упрочняющий эффект объясняется структурирующим действием МУНТ, выступающих в процессе обжига центрами кристаллизации.

Электронные фотографии сырья и керамического камня, обожженного при 1000°C, для исходного и модифицированного глинистого сырья приведены на рис. 1 и 2 соответственно.

На электронные микрофотографии сырья (рис. 1) хорошо видны углеродные нанотрубки, входящие в со-

Таблица 4

Характеристики серийного кирпича

№ образца	Масса, г	Плотность кг/м ³	R _{изг.} , МПа	R _{изг. ср.} , МПа	R _{сж.} , МПа	R _{сж. ср.} , МПа	Марка
1	3250	1692	1,75	2,22	14	15,87	М100
2	3280	1735	2,17		16,45		
3	3270	1688	2,35		14		
4	3440	1763	2,18		17,3		
5	3290	1713	2,54		17,6		

став «Arkema». На микрофотографиях после обжига при 1000°C они также присутствуют, очевидно, не сгоревшие при обжиге вследствие препятствия доступа кислорода внутрь черепка (рис. 2). Видно, что МУНТ концентрируются в поверхностных слоях образующихся минералов.

Таким образом, эффект роста прочности модифицированного МУНТ керамического камня может быть объяснен вкладом специфического влияния нанотрубок. Их теплопроводность достигает 2000–10000 Вт/(м·К) [5, 6], что во много раз превосходит теплопроводность керамики. Возможно, это может быть причиной возникающего различия температурного баланса внутри модифицированного и исходного образцов при одинаковых режимах обжига.

Известно [2, 7–12], что окисление нанотрубок в воздушной среде может идти в интервале температуры от 400 до 950°C. Но достаточно много оснований, позволяющих говорить о возможности сохранности углеродных нанотрубок при обжиге исходя из имеющихся структурных различий в керамическом камне, особенно в зависимости от различий в составе среды горения и скорости и интенсивности термообработки.

Разработанные составы прошли промышленную апробацию на ОАО «Чебоксарский завод строительных материалов». Полнотелый керамический кирпич получен способом пластического формования на действующем оборудовании предприятия.

Шихта серийного кирпича готовилась из глинистого сырья Яушского месторождения с добавлением в качестве отошающих добавок кварцевого песка в количестве 17 мас. % и опилок в количестве 24 мас.%. Шихта для модифицированного кирпича готовилась из того же глинистого сырья, но с увеличенным содержанием кварцевого песка в качестве отошителя. Для некоторого уменьшения массы готового изделия также были применены выгорающие добавки – опилки.

Сушка сырца проводилась по принятой на предприятии схеме в течение 72 ч при температуре 70°C, обжиг при температуре 950°C.

Прочностные характеристики серийного и модифицированного кирпича, полученные в ходе проведенных

Список литературы

1. Патент РФ № 2462431. *Наномодифицированная керамическая масса* / Габидуллин М.Г., Миндубаев А.А., Хузин А.Ф., Габидуллин Б.М. Заявл. 24.01.2011. Оpubл. 27.09.2012. Бюл. № 27.
2. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Полянских И.С., Керене Я., Мачулайтис Р., Пудов И.А., Сеньков С.А., Политаяева А.И., Гордина А.Ф., Шайбадулина А.В. Наноструктурирование композитов в строительном

Таблица 5

Характеристики модифицированного кирпича

Свойство	Содержание модификатора, %	
	0,01	0,03
Плотность кг/м ³	1828	1823
R _{изг. ср.} , МПа	3,14	2,94
R _{сж. ср.} , МПа	25,84	19,75
Марка	М175	М150

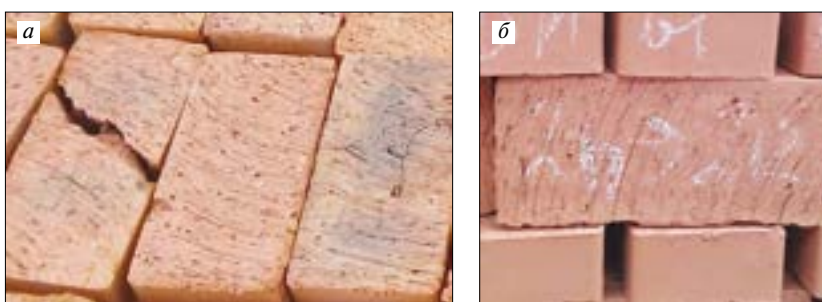


Рис. 3. Полнотелый кирпич: серийный (а); модифицированный (б)

в соответствии с ГОСТ 530–2012 испытаний, представлены в табл. 4 и 5 соответственно.

Марка серийного кирпича М100. Он имеет множественные посечки и трещины, образованные в основном в процессе сушки сырца, а также контактные пятна как результат обжига (рис. 3). Применение модификатора фирмы «Arkema» позволило повысить марку полнотелого керамического кирпича с М100 до М175.

Проведенные лабораторные и промышленные испытания показали, что наибольший технический и экономический эффект достигается при дозировке модификатора 0,01 мас. %.

Экономический эффект от модификации глинистого сырья добавками из состава малотоннажной строительной химии оценивается снижением себестоимости керамических стеновых изделий на 20–30% за счет роста скорости сушки сырца и производительности технологических линий, а также снижения объемов грузоперевозок многотоннажных добавок и отказа от разработки двух и более глиняных карьеров.

Внедрение предлагаемой технологии на практике требует незначительной доработки действующих технологических линий по выпуску строительной керамики с установкой дозаторов для модификатора.

References

1. Patent RF No. 2462431. *Nanomodifitsirovannaya keramicheskaya massa* [The nanomodified ceramic weight]. Gabidullin M.G., Mindubayev A.A., Huzin A.F., Gabidullin B.M. Declared 24.01.2011. Published 27.09.2012. Bulletin No. 27. (In Russian).
2. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Polyanskikh I.S., Cyrene I., Machulaytis P., Pudov I. A., Senkov S.A., Politayeva A.I., Gordina A.F., Shaybadullina A.V.

- материаловедении: Монография. Ижевск: Изд-во ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2014. 196 с.
- Яковлев Г.И., Гинчицкая Ю.Н., Кизиниевич О., Кизиниевич В., Гордина А.Ф. Влияние дисперсий многослойных углеродных нанотрубок на физико-механические характеристики и структуру строительной керамики // *Строительные материалы*. 2016. № 8. С. 25–29.
 - Яковлев Г.И., Михайлов Ю.О., Гинчицкая Ю.Н., Кизиниевич О., Тайбахтина П.А., Балобанова Ю.А. Строительная керамика, модифицированная дисперсиями многослойных углеродных нанотрубок // *Строительные материалы*. 2017. № 1–2. С. 10–13.
 - Богданов А.Н. Модификация глинистого сырья полифункциональными добавками для производства стеновой керамики. Дисс. ... канд. техн. наук. Казань. 2014. 206 с.
 - Mačiulaitis R., Kerienė Jadyvga R., Yakovlev G., Kiziniyevič O., Malaiškienė J., Kiziniyevič V. Investigation of the possibilities to modify the building ceramics by utilising MWCNTs // *Construction and building materials*. 2014. Vol. 73, pp. 153–162.
 - Pop E., Mann D., Wang Q., Goodson K., Dai H. Thermal conductance of an individual single-wall carbon nanotube above room temperature // *Nano Letters*. 2006. No. 6 (1), pp. 96–100. DOI: 10.1021/nl052145f.
 - Глебова Н.В., Нечитайлов А.А. Функционализация поверхности многостенных углеродных нанотрубок. *Письма в ЖТФ*. 2010. Т. 36. Вып. 19. С. 8–15.
 - Филатов С.А., Долгих М.Н., Кучинский Г.С., Ахремкова Г.С., Гункевич А.А., Кумейша Н.А. Термические методы анализа углеродных наноматериалов. *VI Минский международный форум по тепло-массообмену*. Минск. 2008. С. 5–10.
 - Глебова Н.В., Нечитайлов А.А., Кукушкина Ю.А., Соколов В.В. Исследование термического окисления углеродных наноматериалов // *Письма в ЖТФ*. 2011. Т. 37. Вып. 9. С. 97–104.
 - Yu H., Lu C., Xi T., Luo L., Ning J., Xiang C. Thermal decomposition of the carbon nanotube/SiO₂ precursor powders // *Journal of Thermal Analysis and Colorimetry*. 2005. Vol. 82, pp. 97–101.
 - Благовещенский Ю.В., Ван К.В., Володин А.А., Кийко В.М., Колчин А.А., Новохатская Н.И., Тарасов Б.П., Толстун А.Н. Получение и структура композитов с углеродными нанотрубками и керамическими матрицами // *Композиты и наноструктуры*. 2010. № 10. С. 30–39.
 - Nanostrukturirovanie kompozitov v stroitel'nom materiyalovedenii: monografiya. [Nanostructuring composites in construction materials science: monography]. Izhevsk: Publishing house of IzhGTU. 2014. 196 p.
 - Yakovlev G.I., Ginchitskaya Yu.N., Kiziniyevich O., Kiziniyevich V., Gordina A.F. Influence of dispersions of multilayer carbon nano-tubes on physical-mechanical characteristics and structure of building ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 8, pp. 25–29. (In Russian).
 - Yakovlev G.I., Mikhaylov Yu.O., Ginchitskaya Yu.N., Kiziniyevich O., Taybakhtina P.A., Balobanova Yu.A. The construction ceramics modified by dispersions of multi-walled carbon nanotubes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 1–2, pp. 10–13. (In Russian).
 - Bogdanov A.N. Modification of clay raw materials multifunctional additives for production of wall ceramics. Cand. Diss (Engineering). Kazan. 2014. 206 p. (In Russian).
 - Mačiulaitis R., Kerienė Jadyvga R., Yakovlev G., Kiziniyevič O., Malaiškienė J., Kiziniyevič V. Investigation of the possibilities to modify the building ceramics by utilising MWCNTs. *Construction and building materials*. 2014. Vol. 73, pp. 153–162.
 - Pop E., Mann D., Wang Q., Goodson K., Dai H. Thermal conductance of an individual single-wall carbon nanotube above room temperature. *NanoLetters*. 2006. No. 6 (1), pp. 96–100. DOI: 10.1021/nl052145f.
 - Glebova N.V., Nechitaylov A.A. Functionalization of a surface of multiwall carbon nanotubes. *Pisma v GTF*. 2010. Vol. 36. Book 19, pp. 8–15. (In Russian).
 - Filatov S.A., Dolgih M.N., Kuchinsky G.S., Akhremkova G.S., Gunkevich A.A., Kumeysya N.A. Thermal methods of the analysis of carbon nanomaterials. *The 6-th Minsk International Forum across Heat and Mass transfer*. Minsk. 2008, pp. 5–10. (In Russian).
 - Glebova N.V., Nechitailov A.A., Kukushkina Yu.A., Sokolov V.V. Research of thermal oxidation of carbon nanomaterials. *Pisma v GTF*. 2011. Vol. 37. Iss. 9, pp. 97–104. (In Russian).
 - Yu H., Lu C., Xi T., Luo L., Ning J., Xiang C. Thermal decomposition of the carbon nanotube/SiO₂ precursor powders. *Journal of Thermal Analysis and Colorimetry*. 2005. Vol. 82, pp. 97–101.
 - Blagoveshchenskii Yu.V., Van K.V., Volodin A.A., Kiiiko V.M., Kolchin A.A., Novokhatskaya N.I., Tarasov B.P., Tolstun A.N. Receiving and structure of composites with carbon nanotubes and ceramic matrixes. *Kompozity i nanostructure*. 2010. No. 10, pp. 30–39. (In Russian).



Химическая технология керамики

Авторы – коллектив ученых РХТУ им. Д.И. Менделеева под редакцией И.Я. Гузмана

Издание 2-е, исправленное
М: РИФ «СТРОИМАТЕРИАЛЫ». 2012 г. 494 с.

В пособии освещены вопросы современного состояния технологии основных видов керамических изделий строительного, хозяйственно-бытового и технического назначения, а также различных видов огнеупоров. Книга соответствует программе общего курса химической технологии керамики и огнеупоров при наличии также курсов соответствующих специализаций. Подробно изложены характеристика сырья, проблемы подготовки керамических масс и их формование, особенности механизмов спекания, а также дополнительные виды обработки керамики: металлизация, глазурование, декорирование, механическая обработка.

Описаны механические, деформационные, теплофизические, электрофизические свойства керамических изделий, в том числе при высоких температурах.

Учебное пособие рассчитано на студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» и специалистов, работающих в области технологии керамики и огнеупоров.

Тел./факс: (499) 976-22-08; 976-20-36

www.rifsm.ru

УДК 691.41

А.М. САЛАХОВ¹, канд. техн. наук (salakhov8432@mail.ru); Р.Р. КАБИРОВ², инженер, генеральный директор; В.П. МОРОЗОВ³, д-р геол.-мин. наук; Р.А. АРИСКИНА¹, инженер; А.Р. ВАЛИМУХАМЕТОВА¹, магистрант, К.А. АРИСКИНА¹, инженер

¹ Казанский федеральный университет. Институт физики (420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 16а)

² ОАО «Алексеевская керамика» (422900, Республика Татарстан, п.г.т. Алексеевское, ул. Кирпичнозаводская, 10)

³ Казанский федеральный университет. Институт геологии и нефтегазовых технологий (420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 4/5)

Исследование структуры и фазового состава глин в процессе их термической обработки

Обоснована необходимость разработки теории, позволяющей контролировать процессы формирования структуры и образования цвета строительных керамических изделий. Приведены результаты комплексного исследования ряда глин с применением ядерной гамма-резонансной (мессбауэровской) спектроскопии, высокотемпературного фазового анализа, синхронного термического анализа и спектрофотометрии. Использование этих методов позволило понять процессы, происходящие во всем температурном диапазоне при обжиге глины. На основе проведенных исследований установлено характерное поведение каолиновых глин в процессе обжига и влияние гематита на окраску керамических изделий. Проведено сопоставление спектров отражения керамических материалов различных производителей. Приведены примеры целесообразности использования модели CIELab для качественной оценки цвета. Показано, как применение современных методов исследования позволяет решать проблемы, возникающие на кирпичных заводах.

Ключевые слова: керамика, керамический кирпич, глина, мессбауэровские спектры, гематит, минеральный состав, термические исследования, спектрофотометрия, режим обжига, цветовая гамма кирпича.

Для цитирования: Салахов А.М., Кабиров Р.Р., Морозов В.П., Арискина Р.А., Валимухаметова А.Р., Арискина К.А. Исследование структуры и фазового состава глин в процессе их термической обработки // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 18–22.

A.M. SALAKHOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (salakhov8432@mail.ru); R.R. KABIROV², Engineer, General director; V.P. MOROZOV³, Doctor Sciences (Geology and Mineralogy); R.A. ARISKINA¹, Engineer; A.R. VALIMUKHAMETOVA¹, Magstrand, K.A. ARISKINA¹, Engineer
¹ Kazan Federal University. Institute of Physics (16a, Kremlyovskaya Street, Kazan, 420008, Russian Federation)

² "Alekseevskaya ceramics" OAO (10, Kirpichnezavodskaya Street, Urban-type settlement Alekseevse, 422900, Republic of Tatarstan)

³ Kazan Federal University. Institute of Geology and Petroleum Technologies (4/5, Kremlyovskaya Street, Kazan, 420008, Russian Federation)

Research of structure and phase composition of clays in the course of their heat treatment

The necessity of developing a theory allowing to control the processes of structure formation and color formation of building ceramics products were indicated. A complex study of a number of clays was carried out using the most modern research methods: nuclear gamma resonance (Mssbauer) spectroscopy, high-temperature phase analysis, synchronous thermal analysis and spectrophotometry. The use of these methods made it possible to understand the processes that occur throughout the temperature range during the annealing of clay. Based on the conducted studies, the characteristic behavior of kaolin clays during roasting and the influence of hematite on the color of ceramic products have been established. The reflection spectra of ceramic materials of various manufacturers was compared. Examples of the expediency of using the CIELab model for qualitative assessment of color were given. It was shown how the application of modern research methods allows solving the problems arising in brick factories.

Keywords: ceramics, Mossbauer spectra, hematite, mineral composition, thermal studies, spectrophotometry, firing regime, color scale of bricks

For citation: Salahov A.M., Kabirov R.R., Morozov V.P., Ariskina R.A., Valimukhametova A.R., Ariskina K.A. Research of structure and phase composition of clays in the course of their heat treatment. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 18–22. (In Russian).

В последние годы все большим спросом пользуется керамический облицовочный кирпич светлых тонов. Для его производства на кирпичных заводах России используют светлоглистые глины как российской, так и зарубежного производства [1–4]. Заводы Приволжского ФО и Западной Сибири активно применяют глины Кембаевского (Республика Башкортостан) и Нижнеуфимского месторождений (Челябинская область). Отличительной особенностью этих глин является значительное содержание породообразующего минерала каолинита. В идеальной решетке каолинита количество атомов алюминия и кремния одинаковое (1:1), а атомов железа нет. В реальных глинах неизбежно происходят изоморфные замещения как в тетраэдрическом слое (атомы кремния на атомы алюминия), так и в октаэдрическом (атомы алюминия на атомы железа или магния), что приводит к колебаниям в количественном соотношении атомов алюминия и кремния (рис. 1).

Подобные изоморфные замещения происходят и в других глинистых минералах, в том числе в мусковите и монтмориллоните. Однако поглощение электромагнитного излучения в хромофорсодержащих минералах не-

одинаково вследствие различной структуры кристаллической решетки, ее симметрии и типов связей.

До настоящего времени точное количественное прогнозирование свойств материалов только на основании

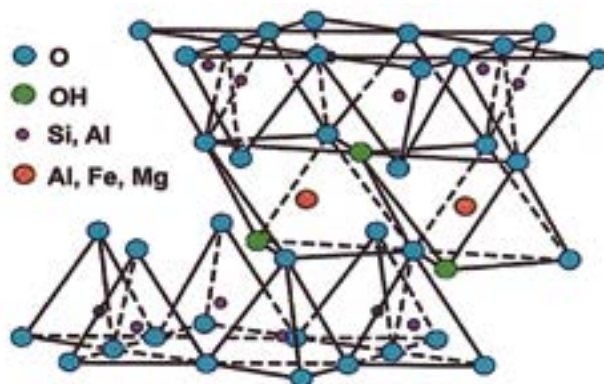


Рис. 1. Кристаллическая решетка каолинита с учетом изоморфных замещений

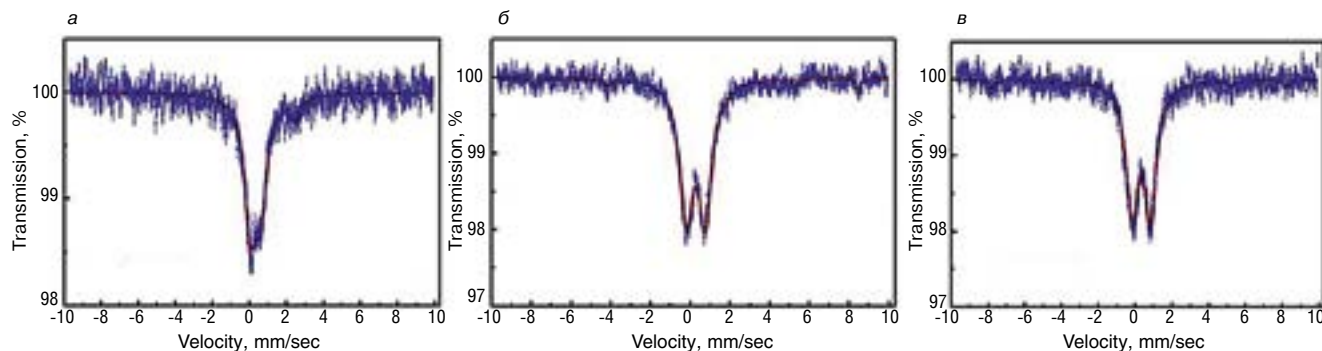


Рис. 2. Мессбауэровские спектры: а – глины Кийембаевского месторождения, б и в – керамики из глины Кийембаевского месторождения ($T_{\text{обж}}=1000^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{обж}}=1150^{\circ}\text{C}$)

теории остается проблематичным. Известно, что нет полного представления о влиянии конкретных минеральных фаз на эксплуатационные характеристики керамики. Ученые Южно-Российского государственного политехнического университета отмечают: «Несмотря на значительное число работ по цвету керамики, до настоящего времени нет научно обоснованного системного представления о физико-химической сущности окрашивания керамики, о цвете сырьевых компонентов и влиянии различных факторов при спекании керамических масс на изменение цветности в процессе обжига и управления цветом изделий» [5]. Известный английский физик Роджер Пенроуз отмечает [6]: «При создании современных технологий существенно использовались обширнейшие эмпирические данные. Однако куда более важна физическая теория, лежащая в основе этих технологий».

Окрашивание лицевого кирпича зависит от многих факторов, в частности от ионного состояния и координации входящих в его состав элементов 3d-группы, электронные переходы которых формируют цветовой тон. Известно [7], что на диаграмме энергетических уровней электронов (1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s и т. д.) 3d-орбитали расположены выше по энергии, чем 4s-орбитали, но ниже, чем 4p-орбитали, что приводит к появлению первого ряда переходных металлов в Периодической таблице Д.И. Менделеева. Существует пять 3d-орбиталей. Принцип Паули гласит, что на каждой орбитали может быть не более двух электронов. Тогда на пяти 3d-орбиталях может находиться десять электронов, что приводит к появлению хромофоров – десяти переходных металлов – от скандия до цинка (Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn). Современные методы исследований позволяют выработать подходы к созданию теории формирования цвета, соответственно гарантированно производить изделия с заданной структурой и цветовой палитрой.

В глине Кийембаевского месторождения главной фазой, в состав которой входят ионы железа, является

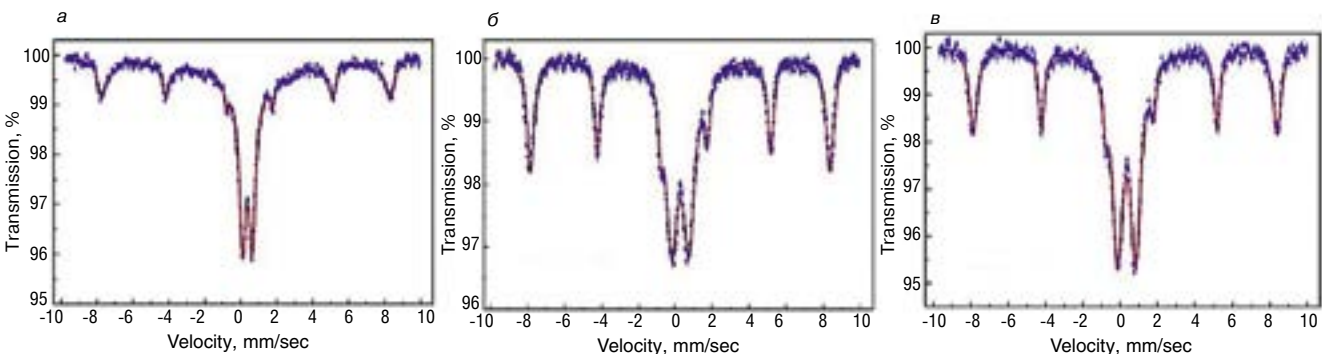


Рис. 4. Мессбауэровские спектры: а – глины Нижнеувельского месторождения, б и в – керамики из глины Нижнеувельского месторождения ($T_{\text{обж}}=1000^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{обж}}=1200^{\circ}\text{C}$)

Таблица 1

Химический состав глины Нижнеувельского месторождения, %
(по данным потребителя глины ООО «Лассельбергер» на 26.02.16)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ППП
57	25,78	4,86	1,27	0,2	0,46	0,88	-	9,56

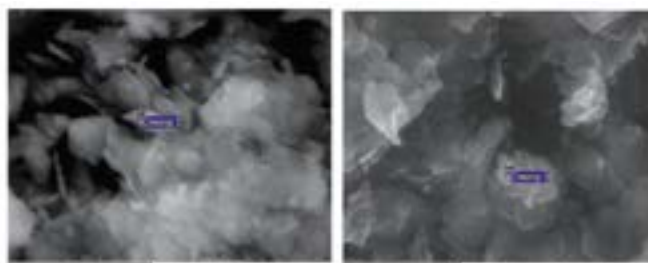


Рис. 3. РЭМ изображение фрагмента глины Нижнеувельского месторождения. Элементный состав из рентгеновских спектров участков, %: «Спектр 2»: O – 73,35; Na – 0,16; Mg – 0,2; Al – 10,67; Si – 14,53; K – 0,48; Ti – 0,17; Fe – 0,36; Cr – 0,07; «Спектр 3»: O – 61,43; Mg – 0,21; Al – 12,99; Si – 16,58; K – 0,19; Ca – 0,13; Ti – 0,76; Cr – 0,06; Fe – 7,64

муллит. Низкая восприимчивость к окрашиванию минерала ионами железа обусловлена особенностями его кристаллической решетки. В структуре муллита изоморфные замещения ионов Al^{3+} на Fe^{3+} не приводят к деформации кристаллической решетки и изменениям электронной структуры минерала [5], обуславливая образование светлого оттенка керамического камня.

Математическая обработка мессбауэровского спектра глины Кийембаевского месторождения (рис. 2) показала наличие двух дублетов, отнесенных к каолиниту (83% от общего содержания железа) и мусковиту (17% от общего содержания железа). Идентификация полученных мессбауэровских спектров проводилась по литературным данным [8]. После обжига при 1000°C и при 1150°C мессбауэровские спектры керамических образцов были разложены на дублет, отнесенный к муллиту, и секстет, отнесенный к гематиту, доля кото-

Таблица 2

**Термические эффекты и потеря массы образца.
Глина Киембаевского месторождения**

Термический эффект	Температура максимума, °С	Потеря массы образцом на конец эффекта, %	Интерпретация
Эндо	61	0,6	Удаление адсорбированной воды
Эндо	510,77	7,44	Удаление ОН-групп из каолинита
Экзо	>990	-	Образование новых кристаллических фаз

рого составляет лишь 6%, что и объясняет светлый тон образцов.

Глина Нижнеуельского месторождения представлена образованиями светло-серого цвета, в то же время в ее химическом составе фиксируется существенное содержание оксида железа (табл. 1).

Структура глины высокодисперсная, в отдельных фрагментах отмечается высокое содержание железа (рис. 3).

Мессбауэровский спектр нижнеуельской глины (рис. 4) был разложен на два дублета и секстет. Большая ширина и несимметричность линий связаны с распределением сверхтонких параметров. Такие распределения могут быть объяснены неоднородностью окружения ионов железа и разными размерами кристаллитов. Параметры секстета близки к известным значениям для гематита; дублеты были отнесены к минералам монтмориллонит (43% от общего содержания железа) и каолинит (33% от общего содержания железа).

После обжига при 1000°С, когда уже произошло разрушение глинистых минералов, 46% ионов железа находятся в гематите, а 54% – во вновь синтезированном муллите, в результате чего образцы становятся светло-красными. С увеличением температуры обжига до

Таблица 3

**Термические эффекты и потеря массы образца.
Глина Нижнеуельского месторождения сорт НУПК**

Термический эффект	Температура максимума, °С	Потеря массы образцом на конец эффекта, %	Интерпретация
Эндо	66,77	1,84	Удаление адсорбированной воды
Эндо	158,99	2,18	Удаление межслоевой воды из монтмориллонита
Эндо	499,8	8,38	Удаление ОН-групп из каолинита
Экзо	968,44	-	Образование новых кристаллических фаз

1200°С доля железа в гематите снижается до 40%. Даже значительное содержание оксидов железа в сырье не мешает получению светлых тонов керамики, поскольку преобладающая часть оксидов железа участвует в синтезе минерала муллита: $(3Al_{2-x}Fe_x^{3+})O_3 \cdot 2SiO_2$. Таким образом, светло-серая глина вначале (до 1000°С) краснеет, с повышением температуры обжига снова светлеет. Установлено, что увеличение температуры обжига с 1000 до 1200°С глины Нижнеуельского месторождения приводит к увеличению значения светлости L^* с 63 до 70 единиц НБС, что коррелирует с анализом мессбауэровских спектров, отражающих уменьшение доли сильноокрашивающей фазы гематита.

В настоящее время, когда промышленностью осваиваются скоростные методы обжига, особенно актуальным становится вопрос адекватного описания процессов, происходящих при термической обработке различных глин.

По данным термического анализа общая потеря массы составляет 8,7 %, а экзотермический пик, свя-

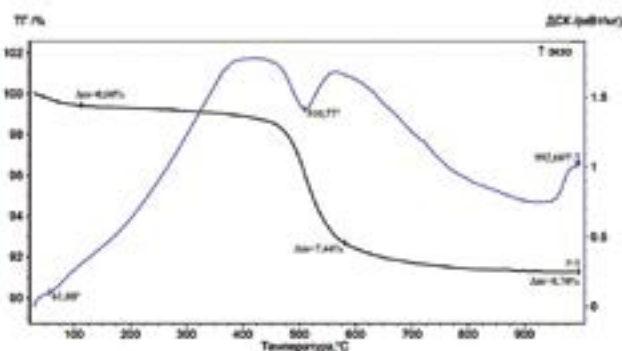


Рис. 5. Кривые ДТА и ТГ. Глина Киембаевского месторождения. Указаны максимумы термических эффектов и потеря массы на конец каждого из них

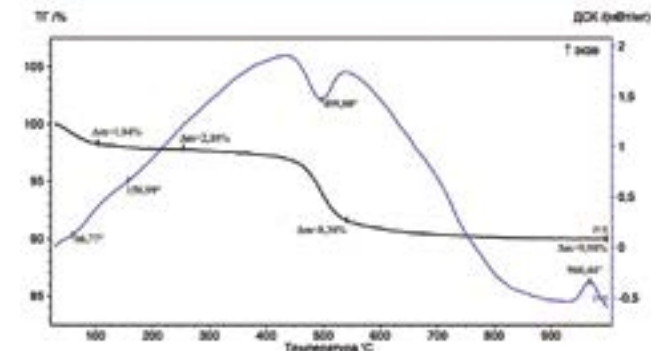


Рис. 6. Кривые ДТА и ТГ. Глина Нижнеуельского месторождения, сорт НУПК

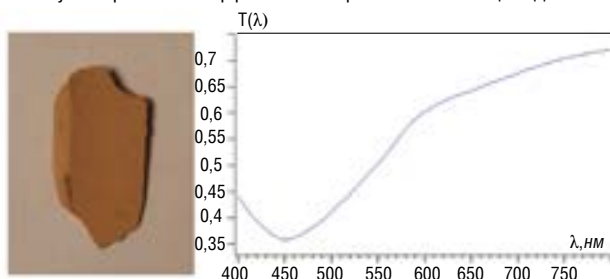


Рис. 7. Фото и отраженный спектр поверхностного слоя кирпича из композиции глин Шигалеевского и Салмановского месторождений

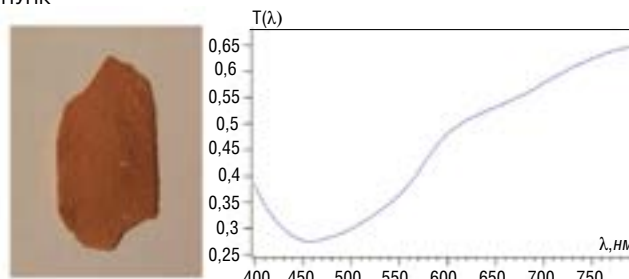


Рис. 8. Фото и отраженный спектр внутреннего слоя кирпича из композиции глин Шигалеевского и Салмановского месторождений

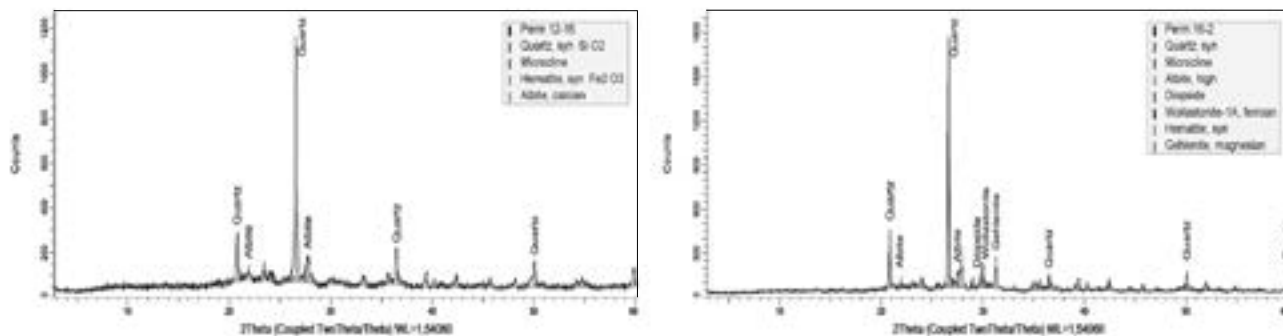


Рис. 9. Дифрактограммы кирпичей. Слева красный кирпич из полиминеральной глины, справа – из той же глины с добавлением 20% мела

занный с синтезом муллита, фиксируется при температуре свыше 990°C (рис. 5, табл. 2).

Результаты термического анализа нижеуевельской глины показывают, что общая потеря массы несколько выше, чем у киембаевской глины, и составляет 9,98%, а экзотермический пик, вызванный кристаллизацией муллита, зафиксирован при более низкой температуре – 968°C, что мы объясняем наличием в глине монтмориллонита (рис. 6, табл. 3).

Полученные результаты не позволяют нам согласиться с авторами статей [5, 10], которые утверждают: «Первоначально происходит образование жидкой фазы, посредством которой происходит взаимодействие между частицами, после чего начинается процесс кристаллизации муллита», поскольку факта образования жидкой фазы в этом интервале температуры нами не выявлено. Далее авторы пишут: «Образование муллита начинается при температуре 900°C, он образует игловидные, призматические и волокнистые кристаллы с ясно различимой спайностью». Мы полагаем, что столь детальное описание морфологии муллита требует пояснения, каким методом это установлено, с приведением соответствующих результатов или ссылки на соответствующие источники. С нашей точки зрения, приведенная морфология относится к муллиту, полученному при существенно более высокой температуре.

Для адекватного прогнозирования характеристик материалов предстоит еще немало потрудиться, в значительной степени это относится и к строительной керамике. Так, из композиции глин Шигалеевского и Салмановского месторождений производится лицевой кирпич, однако значения светлости поверхностного и внутренних слоев заметно отличаются. Установлено, что поверхность кирпича имеет значение светлости $L^* = 78$ единиц НСБ, этот тон сохраняется только на 1–2 мм вглубь, а значение светлости внутренней части снижено на 10 единиц НСБ (рис. 7, 8).

Список литературы

1. Резник В.И. Возможности получения кирпича облицовочного и клинкерного светлых тонов на базе глин ПК «Кислотопор» // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 54–55.
2. Езерский В.А., Панферов А.И. Каолинистая глина Новоорского месторождения – эффективная добавка в производстве лицевого кирпича и клинкера // *Строительные материалы*. 2012. № 5. С. 19–21.
3. Богдановский А.Л., Пищик А.В. Применение глин месторождения Большая Карповка в производстве строительной керамики // *Строительные материалы*. 2012. № 5. С. 22–25.



Рис. 10. Фото и отраженный спектр лицевого кирпича ОАО «Алексеевская керамика»

Специалисты некоторых заводов сталкиваются с проблемой разнотона кирпичей, находящихся на разных уровнях обжиговой вагонетки. На одном из таких предприятий, по данным мессбауэровской спектроскопии, в кирпичах нижнего ряда 61% оксидов железа образует гематит, а в кирпичах верхнего ряда – 66%, что коррелирует и с данными их фазового анализа. Мы полагаем, это связано с существенными различиями температуры по высоте обжигового канала, в результате чего кирпичи верхнего ряда (более высокая температура) темнее, а нижнего ряда (более низкая температура) – светлее. На этом же предприятии производят кирпич светлых тонов, для чего в глину добавляют 20% мела. Такая модификация шихты приводит в процессе обжига к существенным изменениям фазового состава, в частности синтезируются новые кристаллические фазы – диопсид, волластонит, геленит. Отмечается также и снижение аморфной фазы (рис. 9).

Анализ мессбауэровских спектров показывает, что в кирпиче светлых тонов лишь 12% оксида железа в минерале гематит, остальная доля – в диопсиде.

Детальное изучение кинетики изменения фазового состава позволило разработать составы и режимы обжига сырья для производства лицевого кирпича заданных характеристик. Например, на заводе ОАО «Алексеевская керамика» производится кирпич со значением светлости $L^* = 81,4$ единиц НБА (рис. 10), что является одним из важных факторов его высокой конкурентоспособности.

References

1. Reznik V.I. Possibilities of production of facing and clinker brick of light colors on the basis of clays of PG “Kislotoppor”. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 4, pp. 54–55. (In Russian).
2. Ezersky V.A., Panferov A.I. Kaolinite Clay of Novoorsk deposit is an effective additive in production of face brick and clinker. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 5, pp. 19–21. (In Russian).
3. Bogdanovsky A.L., Pishchik A.V. The use of clays of bolshaya karpovka deposit in production of building ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 5, pp. 22–25. (In Russian).



4. Кролевецкий Д.В., Грызунов Р.Н. Воронежское рудоуправление: развитие компании и расширение латненских глин для керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 18–19.
5. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Голованова С.П. Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2014. 152 с.
6. Пенроуз Роджер Новый ум короля: О компьютерах, мышлении и законах физики: Пер. с англ. / Под общ. ред. В.О. Малышенко. Предисловие Г.Г. Малинецкого. Изд. 2-е, испр. М.: Едиториал УРСС, 2005. 400 с. (Синергетика от прошлого к будущему).
7. Файер М. Абсолютный минимум. Как квантовая теория объясняет наш мир / Пер. с англ. А. Сергеев. СПб.: Питер, 2016. 384 с.
8. Mössbauer Mineral Handbook / Stevens J.G., Khasanov A.M., Miller J.W. et al. // Messbauer Mineral Handbook, Biltmore Press, Ashville, NC. 2005. 626 p.
9. Петелин А.Д., Сапрыкин В.И., Клевакин В.А., Клевакина Е.В. Особенности применения глин Нижнеуельского месторождения в производстве керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 28–30.
10. Петелин А.Д., Сапрыкин В.И., Клевакин В.А., Клевакина Е.В. Универсальные глины Нижнеуельского месторождения для производства керамических строительных материалов // *Строительные материалы*. 2017. № 4. С. 11–13.
4. Krolovetsky D.V., Gryzunov R.N. Voronezh Rudo-upravleniye: development of the company and expansion of latnenskiye clays for ceramic brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 4, pp. 18–19. (In Russian).
5. Zubehin A.P., Yatsenko N.D., Golovanova S.P. Theoretical Foundations of white and painting ceramics and Portland cement. Moscow: ООО RIF Stroymaterialy. 2014. 152 p.
6. Penrose Roger The new mind of the king: About computers, thinking and the laws of physics: Tr. with the English. / General. Ed. V.O. Malyschenko. Foreword by G.G. Malinetsky. Ed. 2-nd, corrected. M.: Editorial URSS, 2005. 400 p. (Synergetics from the past to the future).
7. Fayer M. Absolute minimum. How quantum theory explains our world. / Trans. With the English. A. Sergeev. St. Petersburg: Peter, 2016. 384 p.
8. Mössbauer Mineral Handboack / Stevens J.G., Khasanov A.M., Miller J.W. Et al. Messburger Mineral Handbook, Biltmore Press, Ashville, NC. 2005. 626 p.
9. Petelin A.D., Saprykin V.I., Klevakin V.A., Klevakina E.V. Features of application of clays of Nizhneuvetskoye deposit in the production of ceramic bricks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 4, pp. 28–30. (In Russian).
10. Petelin A.D., Saprykin V.I., Klevakin V.A., Klevakina E.V. Universal clays of the Nizhne-Uvelsky deposit for the production of ceramic building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 4, pp. 11–13. (In Russian).

НОВАЯ КНИГА

Задачи импортозамещения строительной керамики

Автор: А.М. Салахов

Издательство Казанского университета, 2017. 136 с.

Альмир Максумович Салахов – лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, заслуженный строитель Республики Татарстан, опираясь на многолетний производственный опыт, читает курс «Современные материалы» студентам Института физики КФУ. Научную и педагогическую деятельность А.М. Салахов совмещает с активной производственной работой в должности заместителя директора по науке ОАО «Алексеевская керамика».

Книга состоит из четырех глав. В гл. 1 приведены некоторые сведения о наиболее выдающихся отечественных ученых, внесших существенный вклад в развитие керамики. Показано, что российская наука была и остается на лидирующих позициях. Дан обзор традиций керамики на территории Татарстана.

В гл. 2 проанализированы состав и структура импортных керамических материалов, пользующихся спросом на отечественном рынке.

В гл. 3 показан широкий спектр сырьевых ресурсов различных регионов Российской Федерации, выявлены особенности их поведения при термической обработке. На конкретных примерах показаны методы модификации сырья, позволяющие производить высококачественные материалы.

Гл. 4 посвящена опыту ряда передовых предприятий России, продукция которых не уступает по качеству зарубежным аналогам.

Автор с благодарностью отмечает, что результаты исследований, приведенные в книге, неоднократно обсуждались с руководителями и специалистами действующих кирпичных заводов (генеральный директор ОАО «Алексеевская керамика» Р.П. Кабилов, технический директор ОАО «КЕРМА» И.М. Путров, главный технолог ООО «Камастройиндустрия» А.Л. Богдановский, главный инженер ОАО «Тульский кирпичный завод» М.Н. Кораблин и многие другие), в том числе в рамках ежегодных Международных научно-практических конференций КЕРАМТЭКС.

Монография рассчитана на инженерно-технических работников предприятий строительной керамики, перед которыми стоит задача вытеснения с отечественного рынка зарубежных керамических материалов.

salakhov8432@mail.ru

Первый в Татарстане студенческий научный отряд «КерамТех»



Участники студенческого научного отряда «КерамТех» на заводе «Алексеевская керамика»

На основании постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 г. № 218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства», в рамках подпрограммы «Институциональное развитие научно-исследовательского сектора» государственной программы Российской Федерации «Развитие науки и технологий» был разработан и одобрен Министерством образования и науки РФ проект «Керамика» по созданию высокотехнологичного производства на ОАО «Алексеевская керамика», который успешно реализован в 2014–2016 гг.

На предприятии введена в действие новая обжиговая печь, произведена значительная реновация оборудования, в результате чего расширена номенклатура производимой продукции, существенно вырос объем ее выпуска. В реализации проекта непосредственное участие принимали студенты Казанского (Приволжского) федерального университета. За время работы на предприятии совместно со специалистами-производственниками они приобрели не только навыки исследовательской работы, но и учились направлять результаты этих исследований на решение конкретных задач производства.

Под руководством преподавателей студенты освоили современные методы физико-химических исследований: высокотемпературного фазового анализа, электронной микроскопии, термического анализа, спектрофотометрии и даже ядерной гамма-резонансной спектроскопии. Конечно, в каждом направлении направляющая роль принадлежала руководителям и ведущим специалистам завода «Алексеевская керамика» и преподавателям КФУ. В рамках проекта были всесторонне изучены различные виды сырья и производимая продукция. Результаты исследований позволили разработать научные основы технологических регламентов предприятия.

По завершении проекта наиболее увлеченные старшекурсники решили продолжить работу в одной команде и в качестве формы самоорганизации в декабре 2016 г. выбрали студенческий научный отряд, который назвали «КерамТех». Затем к ним присоединились и младшие курсы. В настоящее время в отряде состоит 18 человек, из них 16 студентов из республик Башкирия, Мари-Эл, Татарстан, граждане Молдовы, Казахстана, Киргизии и Узбекистана. Альмир Максумович Салахов, наставник и идейный вдохновитель многих «керамических» проектов Татарстана, занял пост мастера отряда.

В соответствии с традиционной структурой студенческих отрядов в научном отряде есть командир – Регина Арискина, и комиссар –



Командир и комиссар студенческого научного отряда с Председателем Правительства РФ Д.А. Медведевым



Стенд СНО «КерамТех» на республиканском слете студенческих трудовых отрядов



Вчерашние студенты после церемонии вручения дипломов

Кристина Арискина. Результатом деятельности научного отряда является интеллектуальная собственность, востребованная реальным сектором экономики. Отряд сотрудничает с кирпичными заводами, заключает с ними договоры. Студенты расширяют и пополняют свои знания, выполняя научно-исследовательские работы прикладного характера, имеющие практическую значимость. Очень важно, что с первых шагов в науке студенты видят реальную пользу от своей работы, понимают важность внедрения научных разработок в повседневную производственную практику с целью повышения экономической эффективности предприятий.

Постепенно студенческий научный отряд превращается в слаженную команду, где более опытные «бойцы» передают свои навыки более молодым; среди результатов их работы – доклады на международных и всероссийских научных конференциях, а также публикации в авторитетных научных журналах, в том числе в журнале «Строительные материалы»®.

Командир отряда Р. Арискина докладывала о первых успехах студенческого научного отряда «КерамТех» Председателю Правительства РФ Д.А. Медведеву в рамках заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России, состоявшегося на базе Казанского федерального университета 25 мая 2017 г. Д.А. Медведев с интересом отнесся к идее создания студенческого научного отряда и отметил важность неформального вовлечения студентов в бизнес-работу на стыке между наукой и предпринимательством, особенно в рамках проектов и грантов с государственным участием.

Летом 2016 г. Регина и Кристина Арискины, Михаил Пасынков, Алина Валимухаметова и Ольга Лис, первые «бойцы» студенческого научного отряда «КерамТех», блестяще защитили выпускные квалификационные работы и поступили в магистратуру по разным направлениям в Инженерный институт, Институт физики, Институт химии. Таким образом реализуется важная черта современной науки – междисциплинарность.

Так формируются специалисты нового поколения, востребованные временем, современной наукой и высокотехнологичным производством. Именно им предстоит не на словах, а на деле осуществлять действенное и эффективное взаимодействие между наукой и реальным производственным сектором экономики.



China International Ceramics Technology, Equipment, Building
Ceramics & Sanitaryware Exhibition

By CCPIT BUILDING MATERIALS SUB-COUNCIL

Come to **CERAMICS
CHINA 2018** to meet over
1000 global exhibitors with new tech, new
idea and new gear!

2018.05.30-06.02

**China Import and
Export Fair Complex**

Guangzhou

Contact:
CCPIT Building Materials
Sub-council
Tel: 0086 10 88082338
Fax: 0086 10 88083938
e-mail: info@ceramicschina.net
www.ceramicschina.net

Завод Ibstock South Holmwood в Англии

Ibstock (Ибсток), крупнейший производитель кирпича в Великобритании, выбрал в прошлом году греческую компанию Sabo (Сабо) для модернизации упаковочной линии на заводе South Holmwood Factory (Сауз Холмвуд фэктори).

Цель проекта заключалась в замене старого оборудования новой роботизированной упаковочной линией. До модернизации на заводе использовали устаревшую роботизированную систему, которая отрицательно влияла на качество конечного продукта. Более того, частые остановки старого оборудования снижали производительность линии и всего завода.

Компанией Sabo была спроектирована простая и надежная новая система, которая обеспечивала минимальный стресс для конечного продукта и прочную окончательную упаковку кирпича.

На новой упаковочной линии робот захватывает слои кирпича с двух существующих программных столов и выстраивает окончательный пакет на новом роликовом конвейере. Дополнительный разделительный механизм был добавлен в качестве продолжения существующего программного и сортировочного столов для замены старого автономного и медленно работающего механизма. Разделительный механизм создает третий слой с подходящими подъемными отверстиями для упаковки.

Через роликовый конвейер сформированный пакет поставляется для перевязки и обмотки на специальном обматывающем аппарате. Во время обмотки пакет поддерживается со всех сторон для обеспечения эффективного обертывания. Вертикальная обвязочная машина работает в сочетании с мощным толкателем, который обеспечивает точное пошаговое перемещение пакета на четырех положениях обвязки. Во время обвязки на всех углах пакета размещаются пластмассовые уплотнения для защиты окончательной упаковки. Затем пакет подается на станцию, где он поднимается и полностью покрывается. Подъем пакета обеспечивает его обертывание с восьми углов – сверху донизу.

После этого пакет подается с помощью цепного конвейера для подъема погрузчиком.

Особое внимание было уделено безопасности линии, а также проведено аналитическое исследование оценки риска для выбора оборудования и его дизайна.

Все защитные ограждения и платформы доступа были детально изучены и сконструированы так, чтобы обеспечить безопасную работу операторов и быстрый доступ к оборудованию.

С точки зрения реализации проект был довольно сложным, тем не менее все работы, включая демонтаж существующего оборудования, установку и окончательный ввод в эксплуатацию новых машин, были полностью произведены менее чем за три недели.

Проект был осуществлен в соответствии с запланированным графиком и отвечал всем требованиям стандартов качества и безопасности производства.



34002 Василико – Халкис – Эвбея – Греция
Тел.: +30 22210 51805-9, факс: +30 22210 54073
Тел. Россия: +7 917 763 95 69
E-mail: sb_sales@sabo.gr
www.sabo.gr



Общий вид упаковочного робота и позиционирующего толкателя.



Упаковочный робот создает пакет.



Вертикальная обвязка упаковки.



Обвязка упаковки.



Конечный конвейер

А.Е. БУРУЧЕНКО¹, д-р техн. наук (buruchenko.ae@mail.ru),
В.И. ВЕРЕЩАГИН², д-р техн. наук (vver@tpu.ru), С.И. МУШАРАПОВА¹, инженер

¹ Сибирский федеральный университет (660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79)

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет (634050, г. Томск, пр-т Ленина, 30)

Исследование физико-химических процессов методом измерения электропроводности в керамических массах при обжиге

Метод измерения электропроводности в глинах и керамических массах при обжиге состоит в определении изменения удельного объемного сопротивления керамического образца при нагреве. Представлены результаты исследований зависимости удельного сопротивления от температуры для образцов, изготовленных из легкоплавких глин, из вторичного сырья и керамических масс с разным компонентным составом. В рассмотренных экспериментальных материалах отражены выход адсорбционной и межплоскостной воды, образование жидкой фазы, разрушение кристаллических решеток минералов и формирование новых. Методология измерения зависимости изменения удельного объемного сопротивления от температуры позволяет в совокупности с другими методами исследований глубже изучить проходящие в керамических массах физико-химические процессы и устанавливать оптимальные режимы обжига изделий.

Ключевые слова: физико-химические процессы, электропроводность, керамическая масса, обжиг.

Для цитирования: Бурученко А.Е., Верещагин В.И., Мушарапова С.И. Исследование физико-химических процессов методом измерения электропроводности в керамических массах при обжиге // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 26–29.

A.E. BURUCHENKO¹, Doctor of Sciences (Engineering) (buruchenko.ae@mail.ru),

V.I. VERESHHAGIN², Doctor of Sciences (Engineering) (vver@tpu.ru), S.I. MUSHARAPOVA¹, Engineer

¹ Siberian Federal University (79, Svobodny Avenue, 660041, Krasnoyarsk, Russian Federation)

² National Research Tomsk Polytechnic University (30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation)

Research in Physical-Chemical Processes by Method of Measuring Electric Conductivity in Ceramic Masses When Firing

The method of measuring the electric conductivity in clays and ceramic masses when firing consists of definition of the change in the specific volume resistance of a ceramic sample when heating. Results of the study of the dependence of specific resistance on the temperature for samples made of low-melting clays, secondary raw materials and ceramic masses with various component compositions are presented. The considered experimental materials reflect the output of adsorption and interlayer waters, the formation of a liquid phase, destruction of crystalline lattices of mineral, and formation of new ones. The methodology of measuring the dependence of specific volume resistance on the temperature makes it possible, in conjunction with other study methods, to more deeply study the physical-chemical processes in ceramic masses and establish optimal conditions of products firing.

Keywords: physical-chemical processes, electric conductivity, ceramic mass, firing.

For citation: Buruchenko A.E., Vereshhagin V.I., Musharapova S.I. Research in physical-chemical processes by method of measuring electric conductivity in ceramic masses when firing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 26–29. (In Russian).

Для производства керамических строительных материалов и изделий используется как природное сырье, так и вторичное в виде отходов промышленных предприятий. С целью получения качественной продукции важным является установление оптимального режима обжига, который учитывал бы физико-химические процессы, проходящие при термической обработке изделий, и обеспечивал им необходимые эксплуатационные свойства [1–3]. Поэтому исходное сырье и керамические массы предварительно исследуют различными методами. К их числу относится дифференциально-термический анализ (ДТА), рентгенофазовый (РФ), спектральный, петрографический, электронная микроскопия и т. д. Однако данные методы используются при исследовании проходящих процессов в отдельно представленных пробах или после того, как образец термически обработан и в нем уже сформировалась структура [4, 5]. Для проведения высокотемпературного рентгенофазового и электронного микроскопического анализа необходима дорогостоящая аппаратура и квалифицированные специалисты.

Достаточно простым является метод измерения электропроводности, который при нагревании и охлаждении фиксирует все изменения фазового состава и структуру материала, связанное с увеличением или уменьшением числа носителей электрического тока [6, 7].

Способность материала проводить электрический ток может быть оценена такой величиной, как удельная объемная электропроводность, или обратной ей величиной – удельным объемным электрическим сопротивлением.

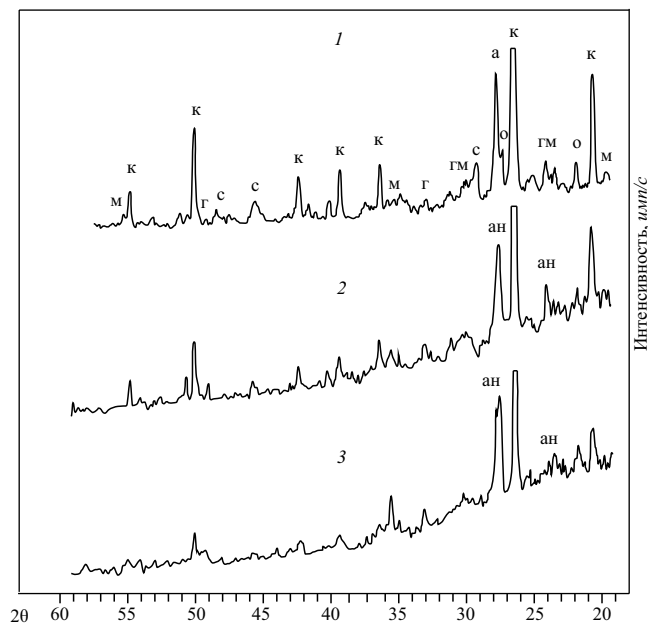
В зависимости от природы носителей тока электропроводность может быть электронная, ионная и молионная. В большинстве случаев наблюдается смешанная электропроводность, так как в материале одновременно присутствуют различные виды носителей зарядов [8, 9].

Основными носителями электрического тока в керамическом сырье и массах являются ионы. Подвижность ионов, входящих в кристаллическую решетку, тем меньше, чем прочнее внутрискристаллические связи. Те ионы, которые находятся в междузлиях и дефектных положениях кристаллической решетки, а также ионы примесных соединений и ионы стекловидной фазы всегда более подвижны, чем ионы кристаллической

Таблица 1

Химический состав глины Кубековского месторождения

Сырье	Массовая доля компонентов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ППП
Глина Кубековского месторождения	56,4	13,8	5,78	7,18	2,3	1,9	1,25	11,38



к – кварц, о – ортоклаз, г – гематит, а – альбит, ан – анортит, м – монтмориллонит, с – карбонат кальция, гм – гидромусковит
Рис. 1. Дифрактограмма глины Кубековского месторождения: 1 – исходная; 2 – обожженная при 950°C; 3 – обожженная при 1150°C

фазы. Именно они являются основными носителями электропроводности керамики. Большой подвижностью обладают ионы щелочных металлов, особенно Na^+ и K^+ . Наиболее эффективное влияние на снижение электропроводности оказывают ионы Ca^{2+} , Ba^{2+} .

Керамическое сырье и керамические массы относятся к диэлектрикам. При нагревании в них происходят процессы, обуславливающие в том числе и разрушение структур минералов или образование новых фаз. Это приводит к увеличению или уменьшению количества ионов и тем самым к изменению электропроводности материала или к уменьшению/увеличению удельного сопротивления.

Авторами разработана установка для изучения зависимости удельного электрического сопротивления образца от температуры нагревания, которая включает электрическую цепь с автоматической регулировкой подъема температуры и измерительного устройства. Измерительное устройство состоит из двух аналого-цифровых преобразователей АДАМ-4018, преобразующих в цифровой код сигналы от термопары, измеряющей температуру в печи, и от образца, предназначенного для измерения удельного сопротивления.

Для проведения измерений образец с электродами, введенными в него при формовании, опускается в печь. Выводящие контакты подсоединяются к измерительному цифровому преобразователю. Сигналы с цифрового преобразователя подаются на компьютер, фиксирующий через заданный промежуток времени температуру в печи и величину удельного сопротивления образца. Так как удельное сопротивление керамических масс при обжиге изменяется в широких пределах, с помощью компьютерной системы можно отдельно рассматривать интервалы температуры в интересующем исследователя диапазоне. Это дает возможность более точно определять температуру или интервал температуры, в которых наблюдаются физико-химические процессы в образце.

Были проведены исследования зависимости изменения удельного сопротивления от температуры для образцов, изготовленных из легкоплавких и тугоплавких глин, из вторичного сырья и керамических масс с разным компонентным составом. Для подтверждения происходящих в образцах физико-химических процессов

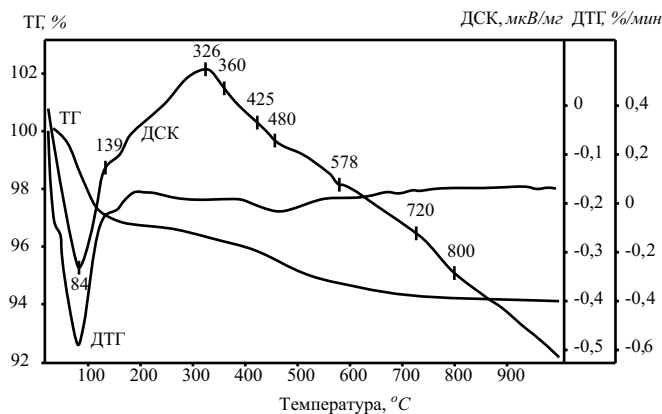


Рис. 2. Термограмма глины Кубековского месторождения: ТГ – термогравиметрическая кривая; ДСК – дифференциально-сканирующая кривая; ДТГ – дифференциально-термогравиметрическая кривая

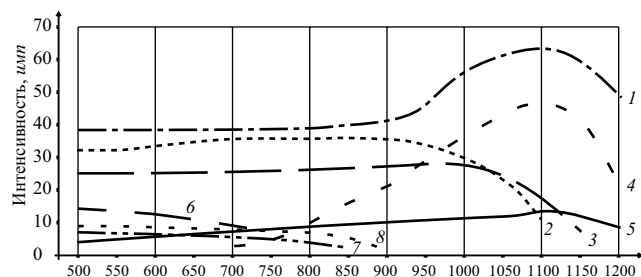


Рис. 3. Изменение интенсивности линий минералов рентгеновских дифракционных максимумов от температуры обжига образцов из глины Кубековского месторождения: 1 – кварц; 2 – альбит; 3 – ортоклаз; 4 – анортит; 5 – гематит; 6 – гидромусковит; 7 – монтмориллонит; 8 – карбонат кальция

проводился дифференциально-термический, рентгенофазовый и другие виды анализа. В данной работе представлены результаты исследований по изучению происходящих при обжиге физико-химических процессов в легкоплавкой глине Кубековского месторождения (табл. 1) методом измерения электропроводности.

По данным рентгенофазового анализа глины, основными глинистыми минералами являются монтмориллонит и гидромусковит. Из неглинистых минералов присутствует кварц, полевой шпат в виде ортоклаза и альбита, карбонат кальция и в незначительном количестве гематит (рис. 1, кривая 1).

Ее дифференциально-термический анализ (ДТА) представлен на рис. 2, рентгенофазовый анализ образцов, обожженных при температуре 500–1200°C с интервалом 50°C, – на рис. 3, а изменения интенсивности линий минералов рентгеновских дифракционных максимумов образцов, обожженных при температуре 950°C и 1150°C, представлены на рис. 1, кривые 2 и 3. Кроме того, у образцов определялась усадка, водопоглощение и прочность при сжатии.

На рис. 4 представлены результаты измерения удельного сопротивления образца, отформованного пластическим способом из легкоплавкой глины, при нагревании от 20 до 1200°C. Измерения удельного сопротивления проводились через каждые 20°C.

Как видно из графика (рис. 4), с повышением температуры обжига удельное сопротивление образца изменяется в широких пределах и с разной скоростью. На кривой фиксируются интервалы: 90–220°C, определяющий выход адсорбционной воды и воды, внесенной в образец при формовании; 480–900°C, соответствующий выходу межплоскостной и химически связанной воды из глинистых минералов (гидромусковита и монтмориллонита); 900–1050°C, отражающий формирование жидкой фазы, которая образуется в результате плавления полевошпатовых минералов, и процесс кристалли-

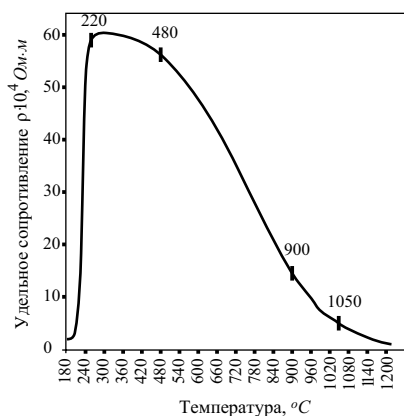


Рис. 4. Изменение удельного сопротивления образца из глины Кубековского месторождения от температуры обжига (масштаб 1:1)

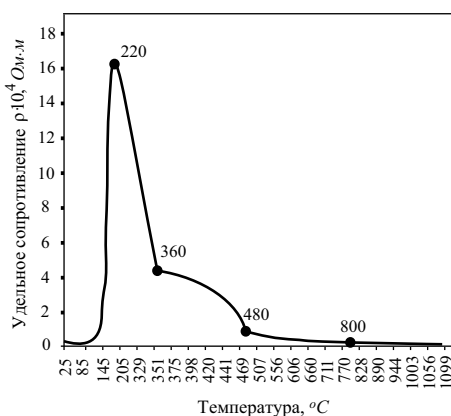


Рис. 5. Изменение удельного сопротивления образца из глины Кубековского месторождения от температуры обжига (масштаб 1:3,5)

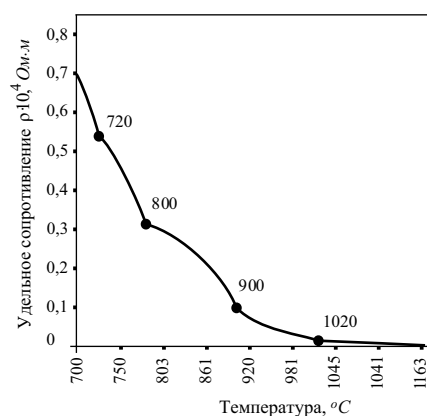


Рис. 6. Изменение зависимости удельного сопротивления образца из глины Кубековского месторождения от температуры обжига (масштаб 1:8,5)

зации продуктов распада карбоната кальция, гидромусковита и монтмориллонита.

При нагревании свыше 1100°C электропроводность образца изменяется незначительно ввиду присутствия достаточного количества жидкой фазы, возникшей в результате продолжения плавления ортоклаза, и растворяющегося в ней кварца.

Измерение удельного сопротивления образца с использованием компьютера дает возможность в разных масштабах просматривать изменение электропроводности на отдельных интервалах температуры.

При рассмотрении в мелком масштабе фиксируются и слабопроявляющиеся физико-химические процессы, которые подтверждаются другими более точными методами исследований.

При сравнении графика изменения электропроводности (рис. 5, 6) с кривой ДСК, ТГ, ДТГ (рис. 2) и с графиками изменения линий интенсивности рентгенографических пиков минералов исследуемой глины (рис. 3), видно, что на кривой удельного сопротивления отмечаются ранее не фиксированные проходящие процессы.

На рис. 5 выделяется интервал 360–480°C, в пределах которого происходит снижение скорости уменьшения удельного сопротивления, что можно объяснить изменением числа носителей ионов, образующихся за счет выхода межплоскостной воды у глинистых минералов.

В интервале 480–800°C продолжает идти равномерное увеличение электропроводности за счет ионов, образующихся при распаде кристаллических решеток монтмориллонита и гидромусковита (рис. 5, 6).

Начиная с 900°C и до 1020°C скорость уменьшения электропроводности снижается, что в основном обу-

словлено началом формирования структуры анортита. Его образование происходит за счет распада кристаллических решеток карбоната кальция и глинистых минералов. Интенсивному росту анортита способствует образующаяся жидкая фаза плавления альбита. С повышением температуры обжига свыше 1100°C электропроводность практически остается неизменной в связи с достаточным количеством жидкой фазы, которая увеличивается за счет продолжения плавления ортоклаза и растворения кварца.

Проведенные исследования физико-химических процессов, происходящих при обжиге в тугоплавких глинах и керамических массах различного компонентного состава, также подтвердили эффективность и способность фиксировать фазовые превращения и структурные изменения в минералах методом измерения электропроводности.

Таким образом, метод измерения электропроводности может быть использован для изучения физико-химических процессов, проходящих в сырье и керамических массах при термической обработке. Он позволяет определить пределы и интенсивность выхода воды (свободной, адсорбционной, межплоскостной и т. д.), разрушение кристаллических решеток минералов, образование жидкой фазы, установление интервала спекания и формирование новых минералов.

Данный метод прост в использовании, не требует дорогостоящего оборудования и в комплексе с другими методами исследований дает возможность точнее определять оптимальную температуру обжига изделий, тем самым обеспечивая их высокие физико-механические свойства.

Список литературы

1. Котляр В.Д., Лапунова К.А. Особенность физико-химических преобразований при обжиге опоковидного сырья // *Строительные материалы*. 2016. № 5. С. 40–42.
2. Гурьева В.А., Прокофьева В.В. Структурно-фазовые особенности строительной керамики на основе техногенного магнезиального сырья и низкосортных глин // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 55–57.
3. Позняк А.И., Левицкий И.А., Баранцева С.Е. Базальтовые и гранитоидные породы как компоненты керамических масс для плиток внутренней облицовки стен // *Стекло и керамика*. 2012. № 8. С. 17–22.
4. Столбоушкин А.Ю., Бердов Г.И., Столбоушкин О.А., Злобин В.И. Влияние температуры обжига на формирование структуры керамических стеновых материалов из тонкодисперсных отходов обогащения

References

1. Kotlyar V.D., Lapunova K.A. The peculiarity of physico-chemical transformations during roasting of opokoid raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 5, pp. 40–42. (In Russian).
2. Gur'eva V.A., Prokof'eva V.V. Structural-phase features of building ceramics based on technogenic magnesia raw materials and low-grade clays. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 55–57. (In Russian).
3. Poznyak A.I., Levickij I.A., Baranceva S.E. Basalts and granitoid solids as mass constituents for ceramic internal lining tiles. *Steklo i keramika*. 2012. No. 8, pp. 17–22. (In Russian).
4. Stolboushkin A.Yu., Berdov G.I., Stolboushkina O.V., Zlobin V.I. Firing temperature impact on structure forming in ceramic wall materials produced of fine dispersed

- железных руд // *Известия вузов. Строительство*. 2014. № 1. С. 33–42.
5. Ковба Л.М., Трунов В.К. Рентгенофазовый анализ. М.: МГУ, 1976. 232 с.
 6. Салахов А.М., Туктарова Г.Р., Нафиков Р.М., Морозов В.П. Современные методы исследований – путь к повышению эффективности керамического производства // *Строительные материалы*. 2007. № 2. С. 23–25.
 7. Орешкин П.Т. Электропроводность огнеупоров. М.: Metallurgija, 1965. 151 с.
 8. Боркочев Б.М., Жердев А.М., Салиева К.Т., Кыдыралиева А.К. Температурная зависимость электропроводности керамик из минерального сырья Киргизской Республики // *Современные наукоемкие технологии*. 2013. № 11. С. 164–166.
 9. Кингери У.Д. Введение в керамику. Пер. с англ. М.: Стройиздат. 1967. 500 с.
5. Kovba L.M., Trunov V.K. Rentgenofazovyj analiz [X-ray phase analysis]. Moscow: MGU. 1976. 232 p.
 6. Salahov A.M., Tuktarova G.R., Nafikov R.M., Morozov V.P. Modern methods of research - the way to increase the efficiency of ceramic production. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 2, pp. 23–25. (In Russian).
 7. Oreshkin P.T. Jelektroprovodnost' ogneuporov [Conductivity of refractories]. Moscow: Metallurgija. 1965. 151 p.
 8. Borkoev B.M., Zherdev A.M., Salieva K.T., Kydyralieva A.K. Temperature dependence of electrical conductivity of ceramics from mineral raw materials of the Kyrgyz Republic. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*. 2013. No. 11, pp. 164–166. (In Russian).
 9. Kingeri U.D. Vvedenie v keramiku [Introduction to ceramics]. Moscow: Strojizdat. 1967. 500 p.



20. ibausil

12.-14.09.2018 in Weimar

F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde | Bauhaus-Universität Weimar

г. Веймар (Германия)

12–14 сентября 2018 г.

**Институт строительных материалов им. Ф.А. Фингера (FIB)
университета Bauhaus-Universität г. Веймар (Германия)
организует 20-й Международный конгресс
по строительным материалам**

Международный конгресс по строительным материалам IBAUSIL проводится в г. Веймаре с 1964 г. и за это время стал авторитетным форумом для научного обмена между исследователями университетов и промышленных предприятий с востока и запада.

Основные темы конгресса

- Неорганические вяжущие вещества;
- Стеновые строительные материалы / содержание
- Бетоны и долговечность бетонов;
- сооружений / переработка материалов.

Официальные языки конференции – немецкий, английский

Заявки об участии с докладами в конгресс принимаются до **1 ноября 2017 г.**

Подробности вы найдете на сайте: www.ibausil.de

www.ibausil.dewww.ibausil.dewww.ibausil.dewww.ibausil.de

УДК 666.712

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ¹, канд. техн. наук, генеральный директор (info@inta.ru),
Г.Я. ШАЕВИЧ¹, инженер, исполнительный директор, С.Г. МАКАРОВ¹, инженер, начальник отдела,
Г.Г. ЛИБЕРОВА¹, ведущий инженер-конструктор, М.Г. ТУРОВ¹, инженер, зам. директора,
В.В. ЧЕЛЫШЕВ², инженер (refractory@sloz.ru), помощник директора по производству новой техники
и оборудования

¹ Институт Новых Технологий и Автоматизации промышленности строительных материалов (ООО «ИНТА-СТРОЙ») (644113, г. Омск, ул. 1-я Путевая, д. 100)

² ОАО «Сухоложский огнеупорный завод» (624800, Свердловская область, г. Сухой Лог, ул. Милицейская, 2)

Испытания резательного автомата в экстремальных условиях

Описана конструкция и дана техническая характеристика резательного автомата РАШЛ-3, предназначенного для одностадийного резания глиняного бруса на изделия в технологии производства керамического кирпича или формованных огнеупоров. Проанализирован результат внедрения РАШЛ-3 на Сухоложском огнеупорном заводе. Приводится способ решения проблем, возникающих при резе пластичного бруса, с добавками большого количества опилок в производстве огнеупоров отрывы режущей струны.

Ключевые слова: кирпич керамический, пластическое формование, одностадийная резка, резка пластичного бруса, резательный автомат для технологии пластического формования.

Для цитирования: Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Макаров С.Г., Либерова Г.Г., Туров М.Г., Челышев В.В. Испытания резательного автомата в экстремальных условиях // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 30–31.

I.F. SHLEGEL¹, Candidate of Sciences (Engineering) (info@inta.ru), G.Ja. SHAEVICH¹, Engineer, S.G. MAKAROV¹, Engineer, G.G. LIBEROVA¹, Engineer, M.G. TUROV¹, Engineer; V.V. CHELYSHEV², Engineer (refractory@sloz.ru)

¹ Institute of New Technologies and Automation of the Industry of Construction Materials, ООО «INTA-STORY» (100, Putevaya Street, 644113, Omsk, Russian Federation)

² ОАО Suholozhskij ognepurnyj zavod (2, Milicejskaja Street, Suhoj Log, Sverdlovskaja Region, 624800, Russian Federation)

Tests of a Cutting Automatic Machine under Extreme Conditions

The design of the cutting automated machine RASHL-3 for one stage cutting of a clay block for products in the technology of production of ceramic brick or shaped refractories is described; its technical characteristic is also given. The result of introduction of RASHL-3 at the Sukholozhsky refractory plant is analyzed. A method for solution of problems appearing when the plastic block is cut, with additions of a large amount of sawdust in refractory production – gusts of a cutting string, is presented.

Keywords: ceramic brick, plastic molding, one-stage cutting, cutting of plastic block, cutting automated machine for technology of plastic molding.

For citation: Shlegel I.F., Shaevich G.Ja., Makarov S.G., Liberova G.G., Turov M.G., Chelyshev V.V. Tests of a cutting automatic machine under extreme conditions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 30–31. (In Russian).

Технология пластического формования керамического кирпича предусматривает разрезание глиняного бруса на отдельные заготовки, которое производится струнными автоматами различных конструкций.

Институтом «ИНТА-СТРОЙ» в 2010 г. был разработан одностадийный резательный автомат РАШЛ-3, способный резать брус на заготовки любой толщины, при этом изменение размера можно было задавать с пульта управления [1]. Специалисты отмечают, что автомат получился удачным, но именно в этот период большинство кирпичных заводов в стране переходили на двухстадийную резку: казалось, что интерес к одностадийной резке потерян.

Однако опыт показал, что одностадийная резка имеет ряд существенных преимуществ. Большое количество отказов в автоматах двухстадийной резки заставило многих производителей пересмотреть свои взгляды на резание бруса.

Основной проблемой повсеместно используемой струнной резки является обрыв режущих струн, что приводит к остановкам всей технологической линии на период замены струны. И таких вынужденных остановок может происходить за смену несколько, что в итоге снижает производительность формовки и качество сырца.

В автомате РАШЛ-3 применен принцип резания струной с одновременной ее «протяжкой» [2]. Режущий

лучок 1 установлен между двух кривошипов 2, вращающихся в одну сторону (рис. 1).

В результате вход струны в брус 4 и выход из него получается с большой долей перемещения вдоль оси струны («протягивание»). При повороте кривошипов 2 лучок 1 со струной 3 совершает как горизонтальное (VG), так и вертикальное перемещение (VB).

Благодаря применению сервопривода автомат получился очень простым, точным, удобным в эксплуатации и надежным. Система управления автоматом на базе сервопривода фирмы SEW-urodrive с панелью оператора позволяет регулировать размер отрезаемого сырца (толщину заготовки) в широких пределах без остановки оборудования, прямо в процессе резания, ведет учет количества отрезанных заготовок и времени работы резательного автомата. Устройство и кинематическая схема резательного автомата показаны на рис. 2.

Автомат работает следующим образом. Пластичный брус 1 подается на входной склиз 3, измеритель 9 определяет его скорость и дает команду на включение сервопривода 2. Сервопривод с нужной скоростью вращает вал с шестерней и кулачком 5. Ролик, закрепленный на конце рычага, перемещаясь по пазу кулачка, поворачивает ось, на которую насажены рычаги каретки 4. Рычаги двигают вперед со скоростью бруса каретку 11 с направляющими роликами. Шестерня, насаженная на вал ку-

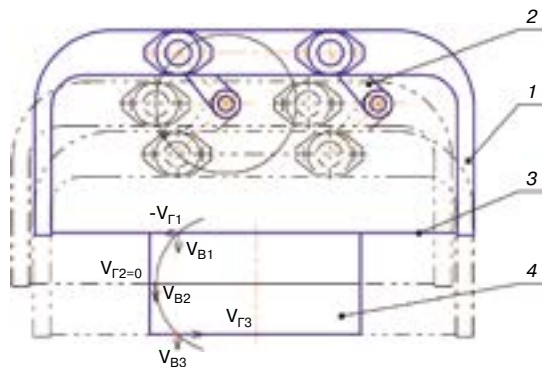


Рис. 1. Рез с протягиванием струны: V_G – горизонтальная составляющая скорости струны; V_B – вертикальная составляющая скорости струны; 1 – лучок; 2 – кривошип; 3 – струна; 4 – глиняный брус

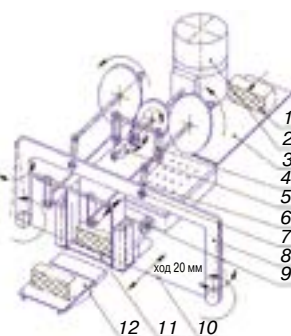


Рис. 2. Кинематическая схема автомата РАШЛ-3: 1 – пластиковый брус; 2 – сервопривод; 3 – склиз входной; 4 – рычаг каретки; 5 – кулачок с роликом привода каретки; 6 – кривошип; 7 – опора шаровая; 8 – лучок; 9 – измеритель скорости бруса; 10 – струна; 11 – каретка с направляющими роликами; 12 – склиз выходной

лучка, вращает два зубчатых колеса. Один оборот шестерни соответствует двум оборотам зубчатого колеса. На концах осей зубчатых колес закреплены два кривошипа 6. На концах кривошипов находятся шаровые опоры 7, на которых подвешен лучок 8. Лучок совершает сложное движение, при котором верхняя часть лучка с шаровыми подшипниками движется в плоскости кривошипов, а нижняя часть отклоняется за струну 10 роликами каретки на некоторый угол. Совершив рез сверху вниз, сервопривод останавливается и ждет команды измерителя. Струна находится под брусом. При резе шестерня с кулачком совершает полный оборот, а зубчатое колесо с кривошипом – пол-оборота. При получении следующей команды цикл повторяется. Рез происходит снизу вверх. Отрезанные заготовки сдвигаются брусом на выходной склиз 12.

Техническая характеристика РАШЛ-3

Размер сечения бруса (макс.), мм	132×275
Размеры получаемых заготовок, мм	40–1800
Производительность макс., шт./ч	8000
Диаметр струны, мм	1,6
Привод автомата: мотор-редуктор SEW-EURODRIVE, кВт	2,2
Габаритные размеры автомата, мм	860×960×1800
Масса, кг	170

На Сухоложском огнеупорном заводе в технологической линии производства огнеупорного легковеса серьезные нарекания вызывал участок резки, где используются модернизированные автоматы СМК 163. Использование



Рис. 3. Резательный автомат РАШЛ-3 в формовочном цехе Сухоложского огнеупорного завода

шихты с большим содержанием опилок (до 45 мас. %, до 70 об. %) вызывали частые обрывы (до 15 раз за смену) струны и остановку всей линии формовки. К тому же изменения размеров отрезаемых заготовок было весьма трудоемким.

Специалисты завода обратились в ООО «ИНТА-СТРОЙ» с предложением доработать резчик РАШЛ-3 под специфику производства огнеупорного легковеса. Основные отличия – свойства сырья: пластичный брус в производстве огнеупоров очень рыхлый, несвязный и гораздо более липкий, чем глиняный.

Автомат РАШЛ-3 был доработан по заказу завода и установлен в формовочном цехе на линии формовки огнеупоров для производственных испытаний в марте 2017 г. (рис. 3).

Механическая часть автомата была изменена под требования заказчика: измерительный валик заменили на измерительный транспортер с очистным скребком, чтобы избежать налипания; увеличили габарит лучка и каретки под нестандартный размер пластикового бруса; переделали кулачок и привод каретки – шестерню и зубчатые колеса. Рез теперь происходит только сверху вниз с выводом струны в прорез. Программа выпуска продукции Сухоложского огнеупорного завода позволила пойти на двукратное уменьшение производительности автомата и убрать рез снизу вверх, так как при этом движении струны происходили значительные вырывы материала, обусловленные большим количеством опилок.

Программу управления резательного автомата скорректировали под изменившуюся механику.

Производственные испытания прошли успешно и завершились подписанием договора купли-продажи. Специалистам завода понравилась простота механической части резательного автомата и легкость изменения размера отрезаемой заготовки с пульта управления, возможность изменения размера «на ходу», существенное сокращение остановок линии из-за обрыва струны. Если раньше происходило 12–15 обрывов, то при эксплуатации РАШЛ-3 – 4–5 за смену. Успешные испытания автомата на таком необычном и сложном сырье показали его потенциал и наличие заложенных в конструкцию возможностей для модернизации.

Список литературы

1. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Макаров С.Г., Шкуркин Н.И. Новый автомат для резания пластикового бруса // *Строительные материалы*. 2011. № 2. С. 16–17.
2. Патент РФ 2411121. Устройство для резки пластикового бруса / Шлегель И.Ф. Заявл. 23.11.2009. Опубл. 10.02.2011. Бюл. № 4.

References

1. Shlegel I.F., Shaevich G.Ya., Makarov S.G., Shkurkin N.I. A New automatic machine for cutting of a plastic extruded column. *Stroitel'nyye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 2, pp. 16–17. (In Russian).
2. Patent RF 2411121. *Ustroystvo dlya rezki plastichnogo brusа* [The device for cutting of a plastic bar]. Shlegel I.F. Declared 11.23.2009. Published 02.10.2011. Bulletin No. 4. (In Russian).

Сотрудничество компаний BEDESCHI SpA и LYMAN Group в Индонезии

Итальянская компания Bedeschi SpA (Бедески СпА), одна из старейших в Европе, разрабатывает и производит оборудование для кирпичной промышленности.

Помимо отрасли грубой керамики, компания производит широкую гамму оборудования для цементной промышленности: дробилки, системы забора и складирования сырья, пылеочистительные системы, а также оборудование для обеспечения портовой инфраструктуры и логистики: судопогрузчики, судоразгрузчики и системы переборки груза с одного судна на другое.

Оборудование находит применение в различных отраслях промышленности, что способствует финансовой и экономической стабильности компании, позволяет использовать различные конструкторские и схожие технические решения и повышать технический и проектный уровень компании.

За более чем 100 лет своей работы компания Bedeschi SpA сохраняет в неприкосновенности семейные традиции и является уникальным производителем, гарантирующим своим клиентам преемственность и надежность.



Боковые горелки



Изделия на печной вагонетке



Группа компаний Луман (Лиман Груп, Индонезия) – лидер среди производителей кровельных материалов, поручила компании Bedeschi поставку новой однослойной туннельной печи обжига и модернизацию отделов массоподготовки и формовки для завода по производству черепицы. Особенностью технологической линии является отсутствие кассет для поддержки черепицы при обжиге: изделия укладываются на вагонетку в один слой и остаются в заданном положении без каких-либо дополнительных приспособлений.

Задачей проекта было обеспечение равномерности обжига изделий с целью соответствия продукции высоким стандартам качества заказчика. Для этого была разработана инновационная схема однослойной загрузки изделий, а также нетрадиционное расположение новых моделей боковых горелок, позволяющих оптимизировать управление потоками теплоносителя внутри печи.

Однослойная загрузка с четкой геометрией садки обеспечивает равномерное распределение теплоносителя по всем поверхностям изделия, что в свою очередь гарантирует высокое качество продукции, снижение длительности цикла обжига и как результат расходов на энергообеспечение.

Печь обжига рассчитана на высокую производительность при цикле обжига 16 часов.

Для получения широкой цветовой гаммы изделий, печь рассчитана на обжиг при высокой температуре.

Компьютеризированная система контроля обеспечивает полностью автоматизированное управление процессами обжига.

Все оборудование Bedeschi было поставлено, установлено, введено в эксплуатацию в рекордно короткие сроки, и технологическая линия успешно функционирует уже несколько лет.

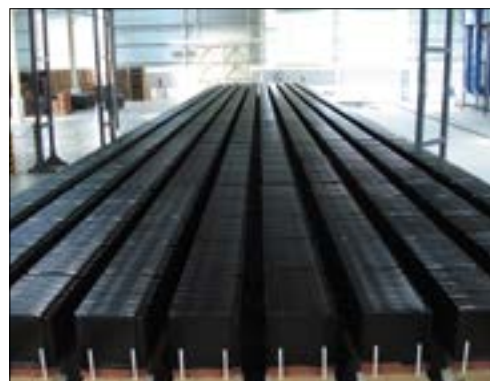
Новые разработки итальянской компании BEDESCHI SpA. Пресс для производства черепицы



Всемирно известная итальянская компания Bedeschi всегда уделяет много внимания развитию собственного технического потенциала и с успехом представляет на рынке свои новые разработки.

Так произошло и с заказом, полученным от компании PT M Class Industry (ПТ М Класс индастри), известного производителя черепицы высочайшего качества из Индонезии. Проект предусматривал поставку комплекса нового оборудования для экструзии, прессовки и укладки черепицы, что позволило компании Bedeschi расширить гамму своей продукции.

Изготовленный и поставленный группой Bedeschi технологический комплекс включает вертикальный смеситель мод. GDC 1500, экструдер мод. BED 500 SLS, линию подачи и резки бруса, новый пресс для одновременной прессовки 3 шт. черепицы (с набором форм для оттиска изделий различной конфигурации) и захват для укладки изделий. Захват, работающий на сжатом воздухе, отличается простотой конструкции и оригинальным техническим решением и позволяет произвести единовременный забор и укладку на сушильную раму 18 шт. черепицы.



УДК 536.5:666.3.046.4

Г.Т. ОРУЗБАЕВА¹, канд. техн. наук (gul_talg@mail.ru);
 М.Т. КАСЫМОВА², д-р техн. наук (kasymova_mariam@mail.ru)

¹ Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова
 (720044, Кыргызстан, г. Бишкек, пр-т Мира, 66)

² Кыргызско-Российский Славянский университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
 (720000, Кыргызстан, г. Бишкек, ул. Киевская, 44)

Определение температуры обжига Чуйской керамики VIII–XVI вв.

На территории современного Кыргызстана расположено немало исторических городов и памятников разных эпох, где обнаружено множество керамических изделий, рассказывающих об особенностях развития одного из основных производств на территории Кыргызстана, игравшего важную роль в экономической жизни средневекового общества. В работе исследованы образцы керамических изделий Буранинского, Крассореченского и Кокжарского городищ, которые были крупными торговыми и культурными центрами и расположены в Чуйской долине, на Великом шелковом пути. В связи с тем, что в настоящее время кыргызская керамика, в частности Чуйская, недостаточно исследована, в работе проведена попытка определения температуры обжига Чуйской керамики VIII–XVI вв. и современной керамики методом комплексного перекрестного анализа и проведено сравнение данных. Метод комплексного перекрестного анализа включает петрографический, рентгенофазовый анализ и технические испытания на твердость. Они позволяют выявить особенности технологии Чуйской керамики, а также отметить важные моменты исторического развития керамического производства.

Ключевые слова: археологические исследования, Чуйская керамика, температура обжига, микроскопический анализ, рентгенофазовый анализ, твердость.

Для цитирования: Орузбаева Г.Т., Касымова М.Т. Определение температуры обжига Чуйской керамики VIII–XVI вв. // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 33–36.

G.T. ORUZBAEVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (gul_talg@mail.ru); M.T. KASYMOVA², Doctor of Sciences (Engineering), (kasymova_mariam@mail.ru)

¹ Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov (66, Mira Avenue, Bishkek, 720044, Kyrgyzstan)

² Kyrgyz-Russian Slavic University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin (44, Kiev Street, Bishkek, 720000, Kyrgyzstan)

Determination of Burning Temperature of Chuy Ceramics of the VIII–XVI Centuries

There are many historic cities and monuments of different epochs on the territory of modern Kyrgyzstan where a lot of potteries were found which describe the peculiarities of development of one of the main productions on the territory of Kyrgyzstan which played an important role in the economic life of medieval society. Samples of potteries of the Burana, Krasnorechensk, and Kokzharsk hillforts, which were large commercial and cultural centers and located in the Chuy Valley on the Great Silk Route, are studied. Due to the fact that at present, the Kyrgyz ceramics, the Chuy in particular, is under-researched and there are no their complete and detailed descriptions, this article attempts to determine the burning temperature of the Chuy ceramics of the VIII–XVI centuries and modern ceramics by the method of complex cross analysis; their comparative data are presented. The method of complex cross-sectional analysis includes petrographic, X-ray phase analyses and technical tests for hardness. They make it possible to reveal the peculiarities of the Chuy ceramics technology as well as to note the important moments of the historical development of ceramic production, connect the history with the present and develop recommendations for the future, as it is known that the old technological methods with the use of modern equipment get a new and unexpected expression.

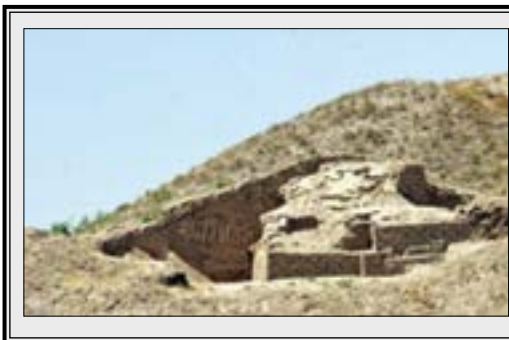
Keywords: archaeological research, Chuy ceramics, burning temperature, microscopic analysis, X-ray phase analysis, hardness.

For citation: Oрузбаева Г.Т., Касымова М.Т. Determination of burning temperature of chuy ceramics of the VIII–XVI centuries. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 33–36. (In Russian).

Выявлено, что керамическая посуда вначале изготавливалась на корзиночной основе, так как плетеные сосуды предшествовали глиняным [1]. Со временем процесс изготовления керамической посуды усовершенствовался и состоял из следующих этапов, которые сохранились до наших дней: размешивание глины, формование изделия, ангобирование, сушка, лошение, орнаментация и обжиг [2].

Обжиг – процесс, необходимый для превращения рыхлой непрочной глины в твердую камнеобразную массу, неподверженную воздействию воды. Технология обжига прошла длительный и сложный путь. Вначале сосуды обжигали в один этап на костре. К Средневековью этот процесс осуществлялся в несколько этапов. Температура обжига керамики связана с расширением и усложнением опыта мастеров и опре-

Чуйская долина — тектоническая впадина в среднем течении р. Чу, от Боомского ущелья до восточной окраины песков Мойнкум, ограниченная Чу-Илийскими горами и Киргизским Ала Тоо. Восточная часть (до реки Аспара) — в пределах Киргизии (Чуйская область). Средние века в Чуйской долине было много больших городов. В них проживали правители различных рангов, ремесленники и земледельцы, торговали купцы. Защиту городов, точнее их центральных частей, обеспечивали мощные укрепления в виде высоких валов и глубоких рвов. За пределами укреплений, в так называемых рабадах, жили земледельцы, которые в минуту опасности могли укрыться за стенами города. Постепенно поселения разрастались, достигали своего расцвета и исчезали, превращаясь в городища, т. е. археологические объекты со следами фортификации, представляющих перед нами в виде холмов. Вся Чуйская долина с запада на восток пронизана сетью городищ. Только больших — 20. А вокруг каждого из них — по 3–5 мелких городищ.



Краснореченское городище в 38 км восточнее Бишкека. Здесь обнаружены остатки древнего города Навекат, одного из городов на Великом Шелковом Пути, который процветал в VI–XII вв. Раскопками выявлены участки керамического водопровода, подводящего воду от магистрального канала к домам зажиточных горожан, а также очистительные колодцы. Краснореченское городище – первый объект на территории Кыргызстана, который исследовался современной наукой, номинируется Кыргызстаном в список Всемирного природного и культурного наследия ЮНЕСКО. Объект признан, одной из крупнейших находок такого рода в Средней Азии, за последнее время.

делялась в каждом конкретном случае производственными потребностями.

В настоящее время накоплен определенный объем знаний об особенностях обжига керамических изделий, в частности о его температуре. Определению температуры обжига исторической керамики посвящен ряд работ. Э.В. Сайко [1, 3] подробно исследовала режим обжига керамики Востока и Средней Азии, в частности древних городов Хульбука, Магианы, Афрасиаба и других ремесленных центров. С. Жушиховская и Б.Л. Залищак использовали петрографический анализ в изучении температуры обжига древней керамики Приморья [4]. Б.Н. Виноградова исследовала режим обжига керамики древнего Хорезма [5]. Т.В. Осипова рассмотрела применение методов естественных наук в современных археологических исследованиях [6].

Как показывает анализ литературы, несмотря на то что определению температуры обжига керамики посвящено немало общих и специальных работ, режим обжига кыргызской керамики изучен слабо. Целью данной работы является изучение организации обжига, выявление возможной температуры обжига Чуйской керамики VIII–XVI вв., предоставленной профессором К.Ш. Табалдыевым. Для сравнения проведены исследования фрагментов современной керамики, изготовленной в мастерской Художественного училища им. Чуйкова из глины месторождения с. Ивановка Чуйской долины.

Характер высокотемпературных новообразований уточняли по данным рентгенофазового анализа. Результаты микроскопической оценки керамического камня контролировали по техническим испытаниям на твердость.

В основе используемых методов лежит исследование характера и степени физико-химических преобразований, происходящих в глиняной массе изделий. Характер этих преобразований зависит от типа глин и условий их тепловой обработки, в частности температуры обжига [2]. При нагревании глиняных образцов происходит удаление гидратной и конституционной воды, выгорание органики, изменяется характер глинистой массы, происходит ее аморфизация, преобразуются внешний вид, структура, механические свойства материала [7].

Одной из основных характеристик степени обжига керамики является ее твердость, так как она лежит в основе прочности и долговечности керамических изделий [8].

Керамика имеет неравномерную плотность, и это приводит к тому, что замеры двух рядом находящихся точек дают разные показатели твердости. Иногда разница показателей очень большая в связи с тем, что наконечник прибора может попасть в поры керамики или на твердые зерна заполнителей. Поэтому в экспериментах было сделано несколько замеров и вычислена средняя твердость. Измерения твердости проводились с помощью прибора ТК-2М для определения твердости по Роквеллу в лаборатории кафедры «Технология машиностроения» Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. Полученные значения твердости приведены в таблице.

При обжиге в глиняной массе происходят и другие, более сложные физико-химические процессы, которые фиксируются по результатам петрографических и рентгенофазовых исследований [9].

Рентгенофазовый анализ основан на изучении спектров рентгеновской дифракции, получаемых при облучении различных кристаллических веществ [10]. Наличие или отсутствие тех или иных кристаллических фаз определяет как характер минерального состава используемых глин, так и степень их температурного преобразования.

В процессе обжига нарушается первичная структура слюды в результате потери гидроксильной группы. При температуре 970°C образуется шпинель. В интервале 1000–1100°C претерпевает определенные изменения и кварцевый материал: зерна кварца пелитизируются. В результате термических преобразований изменяется фазовый состав глинистого материала. При температуре 800–840°C появляется геленит. Волластонит образуется в температурном интервале 850–1000°C, муллит – при температуре 1000°C, а анортит в пределах температуры от 1000 до 1050°C и т. д. [3].

Рентгенофазовые исследования выполнялись на рентгеновском аппарате ДРОН-1,5 ГОСТ 15534–70. Испытания проводили в лаборатории физики твердого тела Кыргызско-Российского славянского университета им. Б. Ельцина.

Результаты рентгенофазового анализа свидетельствуют, что образец № 1 (с. Красная Речка, VIII–IX вв.) состоит из аморфно-кристаллической фазы (рис. 1, а). Кристаллическая фаза представлена нонтронитом по дифракционному пику – 2,266Å; гематитом – 1,844Å; гетитом – 1,562Å; лейцитом – 1,376Å; цинкитом – 1,303Å и кальцитом – 1,149Å. Присутствие минеральных фаз гематит–лейцит–цинкит–кальцит свидетельствует о температуре обжига данного фрагмента примерно от 650 до 800°C.

Средняя твердость по Роквеллу и температура обжига Чуйской керамики

№ обр.	Местонахождение	Век	HR _{ср}	t _{обжига} , °C
1	с. Красная Речка	VIII–IX вв.	90,7	650–800
2	с. Красная Речка	X–XII вв.	91	700–850
3	с. Кок-Жар	X–XII вв.	100,7	800–850
4	Башня Бурана	XIII–XIV вв.	102	900–1000
5	Башня Бурана	XV–XVI вв.	110	1000–1200
6	Башня Бурана	XV–XVI вв.	106,7	900–1000
7	с. Ивановка	XXI в.	121	1050



Буранинское городище является самой знаменитой достопримечательностью Кыргызстана. Историко-архитектурный комплекс находится в 11 км от современного города Токмак на левом берегу реки Чу. Самый большой объем работ на Буранинском городище был выполнен в 1953–1954 гг. известным археологом П. Н. Кожемяко. По предположениям историков и археологов Буран несколько веков назад был столицей караханидов и носил название Баласагун. Возведение минарета на территории Буранинского городища относится к X–XI вв. и является старейшим сооружением подобного типа во всей Средней Азии.

Образец № 2 (с. Красная Речка, X–XII вв.) состоит из аморфной фазы, хотя в составе присутствуют трехкальциевый алюминат по дифракционному пику – 1,941Å; гидраргиллит – 1,521Å; магнезит – 1,766Å; цинкит – 1,357Å и волластонит – 1,17Å. На основании фиксации минеральных фаз магнезит-цинкит-волластонит следует предположить, что температура обжига образца достигала значений от 700 до 850°C.

Образец № 3 (с. Кок-Жар, X–XII вв.) состоит из аморфно-кристаллической фазы. Наиболее высокотемпературные фрагменты керамики дают на рентгенограмме интенсивные линии ортоклаза – 2,929Å; гидромусковита – 2,391Å; галлуазита – 2,227Å; мелилита – 2,04Å; муллита – 1,521Å. Следовательно, верхний предел температуры обжига образца № 3 достигал значений от 800 до 850°C.

Образец № 4 (башня Бурана, X–XIV вв.) состоит из аморфно-кристаллической фазы (рис. 2, а), кристаллическая фаза которой представлена трехкальциевым алюминатом – 2,835Å; α-тридимитом – 2,08Å; форстеритом – 1,787Å; гидраргиллитом – 1,52Å и α-кristобалитом – 1,235Å. Присутствию минеральных фаз α-тридимит-форстерит-α-кristобалит соответствует температура обжига от 900 до 1000°C.

Керамика XV–XVI вв. представлена образцами № 5 и 6 из башни Бураны. Образец № 5 состоит из аморфно-кристаллической фазы, в составе которой присутствуют оливин – 2,41Å; лимонит – 2,245Å; кордиерит – 1,797Å; серпентин – 1,528Å и пирофиллит – 1,366Å. Образец № 6 состоит из аморфной фазы, хотя в составе присутствуют флогопит по дифракционному пику – 2,914Å; оливин – 2,242Å; анортит – 1,926Å и биотит – 1,463 и 1,313Å.

Изучение температурных изменений в образцах № 5 и 6 позволило на основании фиксации таких минеральных фаз, как оливин–кордиерит–пирофиллит предположить, что температура обжига находилась в пределах от 1000 до 1200°C в одном случае, и в другом случае – от 900 до 1000°C – на основании фиксации фаз флогопит–оливин–анортит–биотит.

Современная керамика (**образец № 7**), дифрактограмма которой показана на рис. 3, а, обжигалась при температуре 1050°C. Расшифровка дифрактограммы показала, что образец состоит из кристаллической фазы, в составе которой обнаружено присутствие мелилита по дифракционному пику – 2,406Å; силлиманита – 2,241Å; ларнита – 2,093Å; нонтронита – 1,795Å; орто-

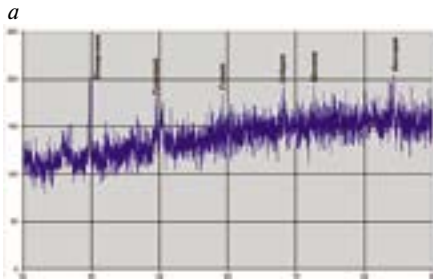


Рис. 1. Образец керамического черепка с. Красная Речка, VIII–IX вв. (№ 1): а – рентгенограмма; б – микроструктура

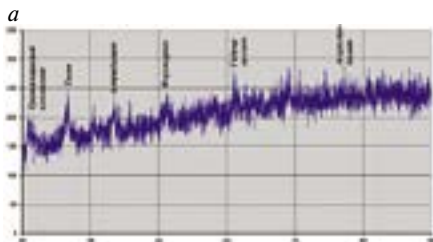


Рис. 2. Образец керамического черепка башня Бурана, X–XIV вв. (№ 4): а – рентгенограмма; б – микроструктура

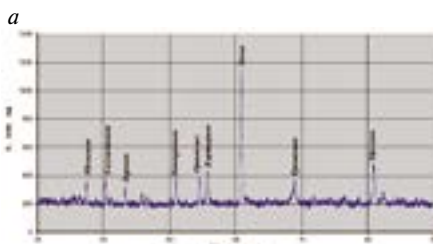


Рис. 3. Образец керамического черепка с. Ивановка, XXI в. (№ 7): а – рентгенограмма; б – микроструктура

клаза – 1,686Å; кордиерита – 1,652Å; талька – 1,523Å; тремолита – 1,362Å и муллита – 1,19Å.

Значениям температуры обжига, которые были определены рентгенофазовым анализом, соответствуют значения твердости (см. таблицу). Например, средняя твердость образца № 5 (110 HR) несколько выше средней твердости образца № 6 (106,7 HR), но это различие не принципиальное. Оно свидетельствует о более высокой температуре обжига образца № 5.

Средняя твердость образца № 7 (121 HR) выше средней твердости № 5 (110 HR), а температура обжига ниже. Такое отличие связано с тем, что средневековые керамисты не могли достичь постоянства температуры в печи, что приводило к снижению твердости керамики.

При термической нагрузке преобразуется связующая глиняная масса. Глинистые частицы при обжиге частично перекристаллизуются в виде мелкошестичатых и чешуйчатых кристаллов [3]. В массе керамического камня появляется стекловидная фаза. При исследовании Чуйской керамики многие термические преоб-

разования, которые происходят в глиняной массе изделий, хорошо видны под микроскопом (петрографический метод), что позволяет делать определенные заключения о температуре обжига керамики (рис. 1–3, б).

Микроскопический анализ проводился в лаборатории кафедры «Технология машиностроения» КГТУ им. И. Разакова с помощью светового металлографического микроскопа Axio Imager A1m/M1m, который является серией прямых микроскопов, созданных с учетом последних разработок в области микроскопии, и подходящим для решения самых различных задач.

Петрографическое исследование изменений в глиняной массе образца № 5 (башня Бурана), изготовленного из лессовидного суглинки, свидетельствует о том, что он был обожжен при довольно высокой температуре, не менее 1000–1200°C. Карбонат полностью обожжен. В массе керамического камня отмечены субмикроскопические новообразования – при большом увеличении хорошо фиксируются кристаллы пиррофиллита, имеющие характерный стеклянный блеск.

Согласно петрографическому анализу температура обжига другого изделия из башни Бурана (образец № 6) также довольно высока. Как и в первом случае, карбонат здесь полностью обожжен, значительно изменен слюдястый материал. Присутствие красного цвета биотита и стекловидного анортита, которые начинают изменяться при температуре 900°C, а также высокотемпературного оливина указывает на предполагаемую температуру обжига, находящуюся в пределах от 900 до 1000°C.

Под микроскопом в образце № 1 фиксируются кристаллы лейцита, имеющие стеклянный блеск. Присутствуют мелкие зерна красного цвета цинкита, а также

Список литературы

1. Сайко Э.В. История технологии керамического ремесла Средней Азии VIII–XII вв. Душанбе, 1966. 224 с.
2. Орузбаева Г.Т., Касымова М.Т. Развитие керамического, металлургического, стекольного производства на территории Кыргызстана до XII в. // *Известия КГТУ*. 2013. № 29. С. 209–213.
3. Сайко Э.В. Режим обжига в практике древних и средневековых гончаров Востока // *Археология Сибири, Средней Азии и Кавказа: КСИА*. 1981. № 167. С. 43–48.
4. Жушиховская С., Залищак Б.Л. Петрографический метод в изучении древней керамики (на материале неолитических-средневековых культур Приморья) // *Методы естественных наук в археологическом изучении древних производств на Дальнем Востоке СССР*. 1986. С. 55–67.
5. Виноградова Б.Н. Петрографическое исследование керамики древнего Хорезма. В кн.: *Петролого-минералогические особенности пород и технического камня*. М.: Недра, 1979. С. 99–106.
6. Осипова Т.В. Применение методов естественных наук в современных археологических исследованиях // *Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского*. 2012. № 27. С. 870–872.
7. Грим Р.Е. Минералогия глин / Пер. с англ. М.: Иностранная литература, 1959. 452 с.
8. Орузбаева Г.Т., Омарбекова А.О. Сравнительный анализ микротвердости древней керамики, обнаруженной на территории Кыргызстана // *Известия КазНТУ*. 2015. № 4. С. 393–395.
9. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов: Методы исследования и контроля / Пер. с англ. М.: Техносфера, 2004. 384 с.
10. Кузнецова Г.А. Качественный рентгенофазовый анализ. Иркутск, 2005. 28 с.

гематит зернистой структуры. Предполагаемая температура обжига от 650 до 800°C.

Из вышеизложенного следует, что результаты петрографического и рентгенофазового анализа образцов Чуйской керамики VIII–XVI вв. показывают сопоставимость и соответствуют результатам твердости (см. таблицу).

По данным петрографического, рентгенофазового анализа и испытания на твердость Чуйской керамики VIII–XVI вв. выявлено:

1. Подъем рабочей температуры был сложным и многопланово обусловленным процессом. Данные табл. 2 показывают, что фрагменты керамических изделий VIII–IX вв. обжигались, судя по характеру термических изменений керамического камня, при температуре от 650 до 800°C. А в XV–XVI вв. температура обжига керамики достигала 1200°C (образец № 5).

2. Сравнительный анализ физико-химических процессов, происходящих в глиняном сырье при обжиге и зафиксированных петрографическим исследованием образцов, дает представление о возможной температуре обжига конкретных образцов.

3. Анализ исследования температуры обжига керамических образцов XV–XVI вв. позволяет сделать вывод, что температура обжига возрастает к XVI в. Это объясняется совершенствованием мастерства гончаров, технологических процессов и дифференциации их.

4. Отличие современной и средневековой керамики связано с тем, что средневековые керамисты не могли достичь постоянства температуры в печи, что приводило к понижению твердости керамики, несмотря на довольно высокую температуру обжига.

References

1. Saiko E.V. Istoriya tehnologii keramicheskogo remesla Srednei Azii VIII–XII vv. [History of the technology of ceramic craft of Central Asia VIII–XII centuries]. Dushanbe. 1966. 224 p.
2. Oрузbaeva G.T., Kasymova M.T. Development of ceramic, metallurgical, glass production in the territory of Kyrgyzstan until the XII century. *Izvestiya of KSTU*. 2013. No. 29, pp. 209–213. (In Russian).
3. Saiko E.V. The roasting regime in the practice of ancient and medieval potters of the East. *Archeology of Siberia, Central Asia and the Caucasus: KSIA*. 1981. No. 167, pp. 43–64. (In Russian).
4. Zhushchikhovskaya S., Zalishchak B.L. Petrographic method in the study of ancient ceramics (based on Neolithic-medieval cultures of Primorye). *Methods of natural sciences in the archaeological study of ancient industries in the Far East of the USSR*. 1986, pp. 55–67. (In Russian).
5. Vinogradova B.N. Petrographic study of ceramics of ancient Khorezm. In: *Petrologic and mineralogical features of rocks and technical stone*. Moscow: Nedra. 1979, pp. 99–106. (In Russian).
6. Osipova T.V. Application of methods of natural sciences in modern archaeological researches. *Izvestiya PSPY name after V.G. Belinsky*. 2012. No. 27, pp. 870–872. (In Russian).
7. Grim R.E. Mineralogiya glin: per. s angl. [Mineralogy of clays: translation from English]. Moscow: Inostrannaya literatura. 1959. 452 p.
8. Oрузbaeva G.T., Omarbekova A.O. Comparative analysis of microhardness of ancient ceramics found on the territory of Kyrgyzstan. *Izvestiya KazNTU*. 2015. No. 4, pp. 393–395. (In Russian).
9. Brandon D., Kaplan W. Mikrostruktura materialov. Metody issledovaniy i kontrolya: per. s angl. [Microstructure of materials. Methods of research and control: translation from English]. Moscow: Technosphere. 2004. 384 p.
10. Kuznetsova G.A. Kachestvennyi rentgenofazovyi analiz. [Qualitative X-ray phase analysis]. Irkutsk. 2005. 28 p.

УДК 693.542.53

П.Д. АРЛЕНИНОВ, канд. техн. наук (arleninoff@gmail.com), С.Б. КРЫЛОВ, д-р техн. наук
НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство» (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6, к. 5)

Численная методика определения неизвестных технологических параметров бетонной смеси при длительных экспериментальных исследованиях

В статье рассмотрен вопрос недостаточности отдельных исходных параметров уже проведенных и опубликованных результатов экспериментальных исследований при последующем научном анализе данных. Описывается методика определения технологических параметров, в частности определение класса бетона по прочности по имеющимся данным о средней призмной прочности бетона в произвольном возрасте и определение постоянных коэффициентов в формуле для длительного модуля упругости. Приведен алгоритм расчета.

Ключевые слова: прочность бетона, экспериментальные исследования, технологические параметры, длительные испытания, бетонная смесь, научная ценность, возраст бетона.

Для цитирования: Арленинов П.Д., Крылов С.Б. Численная методика определения неизвестных технологических параметров бетонной смеси при длительных экспериментальных исследованиях // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 37–39.

P.D. ARLENINOV, Candidate of Sciences (Engineering), (arleninoff@gmail.com), S.B. KRYLOV, Doctor of Sciences (Engineering)
NIIZHB named after A.A. Gvozdev, JSC «Research Center of Construction»
(6, bldg. 5, 2nd Institutskaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

Numerical Methods for Determination of Unknown Technological Parameters of Concrete Mix during Long-Term Experimental Studies

The article considers the issue of lack of some initial parameters of conducted experimental studies and their published results in the course of the subsequent scientific analysis of data. Methods for the definition of technological parameters – determination of the strength grade of concrete according to the available data about average prism strength of concrete in the arbitrary age and definition of permanent coefficients in the formula for long-term elasticity module – are described. An algorithm of calculation is presented.

Keywords: concrete strength, experimental studies, technological parameters, long-term tests, concrete mix, scientific value, age of concrete.

For citation: Arleninov P.D., Krylov S.B. Numerical methods for determination of unknown technological parameters of concrete mix during long-term experimental studies. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 37–39. (In Russian).

При анализе и численной обработке уже имеющихся экспериментальных данных, опубликованных в открытых источниках [1–8], часто приходится сталкиваться с такой неприятной особенностью, что приведены конечные результаты эксперимента и только часть исходных данных – та часть, которая, на взгляд автора, максимально подробно описывает исследуемый объект и достаточна для проведенного им анализа, но которая является неполной для использования имеющихся экспериментальных данных с целью, отличной от целей и задач автора эксперимента.

Так произошло при анализе экспериментальных данных длительных испытаний бетонных образцов, имеющихся в открытом доступе, но проведенных более 30 лет назад Е.А. Чистяковым (Чистяков Е.А. Основы теории. Методы расчета и экспериментальные исследования несущей способности сжатых железобетонных элементов при статическом нагружении // Дисс. д-ра техн. наук. М.: НИИЖБ, 1988. 358 с.).

В первой части данной статьи описывается методика определения класса бетона по прочности по имеющимся данным о средней призмной прочности бетона в произвольном возрасте.

Среди других исходных данных, причем разнообразных и приведенных достаточно подробно, приведена фактическая средняя прочность по результатам испытаний на сжатие серии бетонных призм, проведенных в возрасте 60 сут, без указания класса или марки бетона. Поскольку исследуемые экспериментальные данные представляли научную ценность, была разработана соответствующая методика для решения данного вопроса.

В рассматриваемом эксперименте (проводились длительные испытания бетонных образцов – колонн, нагруженных в возрасте 60 сут) класс бетона не определялся (при экспериментальных исследованиях этого и не требуется, а требуется фактическая прочность бетона), а прочность бетона испытываемой колонны характеризуется только призмной прочностью бетона.

Разработанная методика определения исходного класса бетона (в возрасте 28 сут) по призмной прочности бетона основывается на использовании формул из Рекомендаций по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций [9] и встроенных математических инструментов программного комплекса MathCad.

Условный класс бетона по прочности на сжатие B вычислялся по формуле (1) с учетом характеристик однородности бетона:

$$B = R_{cp} \cdot (1 - t_{\alpha} \cdot V), \quad (1)$$

где B – класс бетона по прочности на сжатие; t_{α} – коэффициент Стьюдента принимался по ГОСТ 18105–2010; R_{cp} – средняя прочность бетона, МПа; V – коэффициент вариации, принимался 13%, поскольку статистическая обработка прочности бетона отсутствовала.

Соответственно переход от средней прочности к прочности, соответствующей классу бетона по формуле (1), был осуществлен множителем (1–1,645·0,13). Принципиальный алгоритм расчета следующий.

А. Записывается выражение для нормативной призмной прочности бетона в момент времени t через

По формуле 26 Рекомендаций [1] нормативная призматическая прочность бетона определяется следующими формулами

$$R_{bs}(t) := \left(1 + \frac{23}{55 + B} \cdot \frac{1 - 28}{1 + 11}\right) \cdot R_{bs} \quad R_{bs} := (0.77 - 0.001 \cdot B) \cdot B$$

Поскольку призматическая прочность экспериментального бетонного образца колонны принимается как средняя и равна

$$R_{exp_60_МПa} := 37 \quad \text{то}$$

$$R_{bs}(t) := R_{exp_60_МПa} \cdot (1 - 1.645 \cdot 0.13) \quad \text{где } 0.13 - \text{коэффициент вариации}$$

Запишем уравнение относительно класса бетона В

$$R_{exp_60_МПa} \cdot (1 - 1.645 \cdot 0.13) = \left(1 + \frac{23}{55 + B} \cdot \frac{1_{испыт} - 28}{1_{испыт} + 11}\right) \cdot (0.77 - 0.001 \cdot B) \cdot B$$

$$29.08755 = \left(1 + \frac{23}{55 + B} \cdot \frac{60 - 28}{60 + 11}\right) \cdot (0.77 - 0.001 \cdot B) \cdot B$$

Получаем решение относительно класса бетона В

$$\begin{pmatrix} 35.534991488288928475 + 5.98387045110323891454 \cdot B \\ -61.612363330140542518 - 4.90734591919887023914 \cdot B \\ 730.71117467875302249 - 8.86624531904368675434 \cdot B \end{pmatrix}$$

Минимальная часть имеет порядок 10^{-26} , 10^{-17} , поэтому ею пренебрегаем, и физический смысл имеет только первое решение

Отсюда, после округления получаем класс бетона **В := 35.5**

Рис. 1. Определение класса бетона в интерфейсе программы MathCad

2.3. Значение начального модуля упругости бетона $E_b(t)$ при известных характеристиках состава бетонной смеси и ее составляющих определяют по формуле

$$E_b(t) = \frac{[400 + R_b^C(t)]}{[s \cdot P_T + R_b^C(t)]} \quad (1)$$

где $R_b^C(t)$ – гарантированное значение кубиковой прочности бетона при скакании с обеспеченностью 0,95 (согласно СТ СЭВ 1406 – 78) в возрасте t , МПа; P_T – удельное по массе содержание цементного теста в бетонной смеси; s – параметр, характеризующий влияние упругих свойств заполнителя в бетоне и привязанный по табл. 1.

Таблица 1

Бетон с заполнителем		Значения s , МПа
крупным	мелким	
Гравитный щебень, речной гравий	Кварцевый песок	135
Базальтовый щебень	То же	165
		155

Рис. 2. Пункт 2.3 Рекомендаций [1]

класс бетона В с использованием нормативных формул из Рекомендаций [9] – приведены на рис. 1.

Б. Одновременно определяется нормативная призматическая прочность бетона в известный момент времени (в данном случае 60 сут) путем корректировки средней прочности бетона статистическим множителем $(1 - 1,645 \cdot 0,13)$ в соответствии с формулой (1).

В. Значения А и Б приравниваются, в выражение для нормативной прочности А подставляется фактическое время нагружения – 60 сут.

Г. Решаем полученное уравнение относительно класса бетона В. Это выполняется в любой математической программе (в приведенном примере расчет выполнен в MathCad).

На рис. 1 приведена выкопировка данного расчета в интерфейсе программы MathCad. Ниже приведены примечания к расчету:

- индексы у всех переменных расписаны более подробно, чем в нормативных документах;
- символ «:=» в программе MathCad обозначает присваивание;
- символ «=» обозначает приравнивание;
- синим цветом выделены не участвующие в расчете символы (текстовые пояснения).

Для длительного модуля упругости воспользуемся формулой из диссертации Е.А. Чистякова (стр. 115), как автора эксперимента

$$E_{e_МПa} = \frac{54000 \cdot R_{exp_60_МПa}}{20 + R_{exp_60_МПa}} \quad \text{Далее выразим призматическую прочность бетона из уравнения относительно класса бетона В}$$

$$R_{exp_ср_60_МПa} = \left(1 + \frac{23}{55 + B} \cdot \frac{1 - 28}{1 + 11}\right) \cdot (0.77 - 0.001 \cdot B) \cdot \frac{B}{1 - 1.645 \cdot 0.13}$$

Подставляем значение призматической прочности в выражение для модуля упругости

$$E_{e_МПa} = \frac{54000 \cdot \left[\left(1 + \frac{23}{55 + B} \cdot \frac{1 - 28}{1 + 11}\right) \cdot (0.77 - 0.001 \cdot B) \cdot \frac{B}{1 - 1.645 \cdot 0.13} \right]}{20 + \left[\left(1 + \frac{23}{55 + B} \cdot \frac{1 - 28}{1 + 11}\right) \cdot (0.77 - 0.001 \cdot B) \cdot \frac{B}{1 - 1.645 \cdot 0.13} \right]}$$

Выделим кубиковую прочность, и затем умножим числитель и знаменатель на $(1 - 1.645 \cdot 0.13) / (0.77 - 0.001 \cdot B)$

$$E_{e_МПa} = \frac{54000 \cdot \left[\left(1 + \frac{23}{55 + B} \cdot \frac{1 - 28}{1 + 11}\right) \cdot B \right]}{20 \cdot (1 - 1.645 \cdot 0.13) + \left(1 + \frac{23}{55 + B} \cdot \frac{1 - 28}{1 + 11}\right) \cdot B}$$

С другой стороны, по Рекомендациям [1] модуль упругости выражается:

$$E_{e_МПa}(t) = \frac{400 + R_{b60_МПa}(t)}{s \cdot P_T + R_{b60_МПa}(t)}$$

из сравнения этих двух выражений, находим, что $400 + s = 54000 \Rightarrow s \cdot P_T = \frac{20 \cdot (1 - 1.645 \cdot 0.13)}{(0.77 - 0.001 \cdot B)}$

Вычисляем значения параметров s и P_T .

$$s := \frac{54000}{400} = 135 \quad \text{что как раз соответствует табличному значению } s \text{ (рис. 2) для наиболее распространенного бетона с заполнителем на гранитном щебне (речном гравии) и кварцевом песке.}$$

$$P_T := \frac{20 \cdot (1 - 1.645 \cdot 0.13)}{(0.77 - 0.001 \cdot B)} \cdot \frac{1}{s} = 0.158$$

Рис. 3. Определение технологических коэффициентов P_T и s в интерфейсе программы MathCad

В следующей части статьи речь пойдет о более сложной задаче – определении постоянных коэффициентов в формуле для длительного модуля упругости (в данном случае коэффициента P_T – удельное по массе содержание цемента в бетонной смеси и параметра s – характеризующего влияние упругих свойств заполнителя в бетоне) при неизвестных табличных исходных данных для определения этого коэффициента.

В соответствии с п. 2.3 Рекомендаций [9] модуль упругости бетона в любой момент времени зависит от трех параметров. Выкопировка из этих рекомендаций приведена на рис. 2.

Для определения неизвестных коэффициентов P_T и s можно воспользоваться стандартным приемом решения математических уравнений: когда необходимо определить коэффициенты неизвестного выражения, это выражение записывается в другом виде и в других коэффициентах, затем структура формулы преобразуется для определения искомых величин. В данном случае выражение для длительного модуля упругости было записано в виде, принятом по диссертации Е.А. Чистякова, а затем математически преобразовано таким образом, чтобы структура множителей повторяла необходимое выражение из рекомендаций [9]. Такой подход позволил определить из одного уравнения два неизвестных параметра. Ход решения в программе MathCad приведен на рис. 3.

Приведенные в статье примеры показывают возможности математической обработки (с использованием современных программных комплексов) имеющихся исходных данных для определения недостающих технологических параметров.

Список литературы

1. Пономарев В.Н., Травуш В.И., Бондаренко В.М., Еремин К.И. О необходимости системного подхода к научным исследованиям в области комплексной безопасности и предотвращения аварий зданий и сооружений // *Мониторинг*. 2014. № 1. С. 5–12.
2. Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С., Крылов А.С., Каприелов С.С., Чилин И.А., Мартиросян А.С., Фимкин А.И. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций, работающих на внецентренное сжатие // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. 2016. № 3. С. 127–135.
3. Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С., Крылов А.С. Ответственный и зарубежный опыт исследований работы сталежелезобетонных конструкций на внецентренное сжатие // *Строительство и реконструкция*. 2016. № 5 (67). С. 31–44.
4. Римшин В.И., Кришан А.Л., Мухаметзянов А.И. Построение диаграммы деформирования одноосного сжатого бетона // *Вестник МГСУ*. 2015. № 6. С. 23–31.
5. Тамразян А.Г., Есаян С.Г. Механика ползучести бетона. М.: МГСУ, 2012. 490 с.
6. Власов В.М., Веретюшкин В.И., Линдес А.Г. Экспериментальные исследования прочности и деформативности бетона при двухосном сжатии // *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. 1987. Т. 199. С. 40–44.
7. Бондаренко В.М., Римшин В.И. Примеры расчета железобетонных и каменных конструкций. М.: Высшая школа, 2014. 504 с.
8. Кодыш Э.Н., Никитин И.К., Трекин Н.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям. М.: АСВ, 2011. 372 с.
9. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона при расчете бетонных и железобетонных конструкций. М.: НИИЖБ, 1988. С. 5–15.

References

1. Ponomarev V.N., Travush V.I., Bondarenko V.M., Eremin K.I. About need of system approach to scientific research for area complex safety and accident prevention of buildings and constructions. *Monitoring*. 2014. No. 1, pp. 5–12. (In Russian).
2. Travush V.I., Konin D.V., Rozhkova L.S., Krylov A.S., Kapriellov S.S., Chilin I.A., Martirosyan A.S., Fimkin A.I. Experimental study of composite structures, working for eccentric compression. *ACADEMIA. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2016. No. 3, pp. 127–135. (In Russian).
3. Travush V.I., Konin D.V., Rozhkova L.S., Krylov A.S. Domestic and foreign experience in research of composite structures for eccentric compression. *Stroitel'stvo I Rekonstruktsia*. 2016. No. 5 (67), pp. 31–44. (In Russian).
4. Rimshin V.I., Krishan A.L., Mukhametzyanov A.I. Creation of the chart of deformation of the monoaxial compressed concrete. *Vestnik MGSU*. 2015. No. 6, pp. 23–31. (In Russian).
5. Tamrazyan A.G., Esayan S.G. Mekhanika polzuchesti betona [Mechanics of creep of concrete]. Moscow: MGSU, 2012. 490 p.
6. Vlasov V.M., Veretyushkin V.I., Lindes A.G. Pilot studies of durability and deformability of concrete at two-axis compression. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 1987. Vol. 199, pp. 40–44.
7. Bondarenko V.M., Rimshin V.I. Primery rascheta zhelezobetonnykh i kamennykh konstruksii [Examples of calculation of reinforced concrete and stone designs]. Moskva: Vysshaya shkola, 2014. 504 p.
8. Kodysh E.N., Nikitin I.K., Trekin N.N. Raschet zhelezobetonnykh konstruksii iz tyazhelogo betona po prochnosti, treshchinostoičnosti i deformatsiyam [Calculation of reinforced concrete designs from heavy concrete on durability, crack resistance and deformations]. Moskva: ASV. 2011. 372 p.
9. Rekomendatsii po uchetu polzuchesti i usadki betona pri raschete betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksii (The recommendations about accounting of creep and shrinkage of concrete when calculating concrete and reinforced concrete designs). Moscow: NIIZhB, 1988, pp. 5–15.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА
 22–24 ноября 2017 г. Екатеринбург
 НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СОВРЕМЕННЫЙ АВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН

Соорганизатор  Генеральный спонсор компания 

Конференция приурочена к 10-летию создания Национальной Ассоциации производителей Автоклавного Газобетона, и по традиции затронет широкий круг вопросов отрасли производства автоклавного газобетона:

- Развитие отрасли автоклавного газобетона в условиях спада строительства. Статистика производства. Место на рынке стеновых материалов. Прогноз развития рынка АГБ. Особенности производства и применения на постсоветском пространстве.
- Продажи в условиях кризиса. Стратегия продвижения ячеистого бетона в условиях развития конкурентных стеновых материалов. Конкуренция внутри отрасли. Развитие методик продаж.
- Оптимизация производства автоклавного газобетона. Применение новых материалов, оборудования и технологий, позволяющих сократить производственные издержки и повысить качество выпускаемой продукции. Информационные технологии как инструмент для оптимизации производства.
- Расширение номенклатуры выпускаемой продукции. Новая продукция из автоклавного газобетона. Изменение формы блока с целью повышения герметичности кладки. Плиты и перемычки из АГБ. Теплоизоляционные ячеистые бетоны автоклавного твердения: особенности производства, существующие и потенциальные области применения. Сборно-монолитные перекрытия с внешним армированием растянутой зоны тонкостенной несъемной опалубкой.
- Совершенствование методов испытания автоклавного газобетона. Оценка прочности при испытании блоков, уточнение масштабных коэффициентов.
- Исследование процессов формирования газобетонной структуры. Изучение физических процессов, протекающих при автоклавной обработке газобетона. Модификация состава и структуры введением комплексных добавок.
- Проблемы применения автоклавного газобетона. Изучение трещинообразования в конструкциях из автоклавного газобетона, выработка методов повышения трещиностойкости. Применение в помещениях с влажными и мокрыми режимами эксплуатации. Армирование кладки из АГБ. Материалы для армирования.
- Пенополиуретановый клей как альтернатива цементно-песчаным смесям. Опыт применения и ассортимент ППУ-составов. Оценка прогнозной долговечности ППУ-кладочного шва в АГБ кладке. Прочностные и деформационные характеристики кладки АГБ на пенополиуретановом клее.
- Изменение нормативной базы производства и применения АГБ.

Оргкомитет конференций: +7 904 634 38 88; e-mail: as@gazo-beton.org; http://gazo-beton.org; http://naag.pf. Контактное лицо: Анастасия Смирнова

Морозная деструкция бетонов

Часть 1. Механизм, критериальные условия управления

Обсуждается в обобщенной постановке научно-инженерная проблема морозной деструкции бетонов в строительных конструкциях. Показывается значение такого обобщения, обусловленного, с одной стороны, появлением новых высокотехнологичных плотных и макропористых бетонов с модифицированной, в том числе с наномодифицированной, их структурой, а с другой – расширением областей их применения, в том числе в экстремальных условиях эксплуатации зданий и сооружений. В контексте исследований проблем морозостойкости, проведенных за последние 50–60 лет отечественными и зарубежными учеными, дается систематизация явлений и процессов, определяющих механизмы и факторы накопления повреждений в материале при многократном циклическом замораживании-оттаивании. Специальное внимание при этом уделено особенностям и закономерностям исчерпания потенциала морозостойкости бетонов при работе их в строительных конструкциях. С учетом фактора структуры твердой фазы и порового пространства бетона анализируется определяющее значение фактора термоградиентности состояния конструкций для развития процессов тепломассопереноса в бетоне и соответственно для интенсивности и меры морозной его деструкции. Обосновываются критериальные условия обеспечения потенциала работоспособности бетонов в конструкциях, подвергаемых морозному воздействию эксплуатационной среды.

Ключевые слова: бетон, строительная конструкция, эксплуатационная среда, структура бетона, тепломассоперенос, морозная деструкция.

Для цитирования: Чернышов Е.М. Морозная деструкция бетонов. Часть 1. Механизм, критериальные условия управления // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 40–46.

E.M. CHERNYSHOV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS (chem@vgasu.vrn.ru)
Voronezh State Technical University (84, 20-letiya Oktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

Frost Destruction of Concretes. Part 1. Mechanism, Critical Conditions of Control

A scientific-engineering problem of the frost destruction of concretes in building structures is discussed in a generalized statement. The importance of this generalization due to, on the one side, the appearance of new high technological dense and macro-porous concretes with a modified, nano-modified including, structure, on the other side, due to the expansion of their application fields, under the extreme conditions of operation of buildings and structures including, is shown. The systematization of phenomena and processes which determine the mechanisms and factors of damage accumulation in the material in the course of multiple and cyclic freezing and thawing is presented in the context of studies of frost-resistance problems conducted by domestic and foreign scientists for the last 50–60 years. A special attention is paid to the peculiarities and regularities of the exhaustion of potential of the frost-resistance of concretes in the course of their operation in building structures. Taking into account the factor of the solid phase structure and porous space of the concrete, the defining value of the thermo-gradient factor of structure conditions for the development of heat and mass transfer processes in the concrete and, accordingly, for the intensity and measures of its frost destruction are analyzed. Critical conditions of providing the potential of workability of concretes in the structures subjected to the frost impact of the operational environment are substantiated.

Keywords: concrete, building structure, operational environment, concrete's structure, heat-mass transfer, frost destruction.

For citation: Chernyshov E.M. Frost destruction of concretes. Part 1. Mechanism, critical conditions of control. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 40–46. (In Russian).

Долговечность бетонов в зданиях и сооружениях определяется интенсивностью и мерой развития совокупности деструктивных явлений и процессов в них как следствия комплекса механических, физико-химических и физико-климатических воздействий эксплуатационной среды на строительные конструкции.

В данной фразе, отражающей одно из основных положений методологии современного строительного материаловедения и касающейся системного понимания триады *материал – конструкция – среда*, определен подход к исследованию и разработке проблем управления долговечностью бетонов.

Согласно этому подходу речь должна идти об оценках долговечности бетонов именно в конструкциях. Управление долговечностью должно связываться с раскрытием явлений, процессов и существа механизмов деструкции, с выделением факторов и критериальных условий, наконец, с разработкой на этой основе принципов обеспечения оптимальной сопротивляемости их структуры разрушающему воздействию эксплуатационной среды на конструкцию.

Очевидно, что в развитии теории и практики управления долговечностью бетонов, ее оптимизации как функции механических, физико-химических и физико-климатических условий эксплуатации конструкций

определяющее значение имеют *вопросы систематизации и раскрытия явлений, процессов, механизмов и факторов деструкции*.

В полной мере и в первую очередь это относится к сопротивлению структуры бетонов морозному разрушению, по-прежнему одному из наиболее сложных вопросов строительного материаловедения, требующего дальнейшей разработки.

Общая систематизация явлений, процессов и факторов морозной деструкции бетона

Определяя задачу систематизации явлений и факторов морозной деструкции бетона, требуется характеризовать процесс морозного разрушения во всей совокупности его механического, физико-химического и физико-климатического износа в эксплуатационной среде.

«*Морозный износ*» бетонов в общем его рассмотрении целесообразно связывать с последствиями от *деструкции материала без образования и с образованием криофазы* в исходной трехфазной его структуре. Первая из них может иметь место в области положительной и отрицательной температуры в отсутствии жидкой фазы или в области положительной температуры в присутствии жидкой фазы в структуре бетона; вторая проявляется в



Рис. 1. Механизмы и факторы деструкции бетона и конструкции в условиях морозного воздействия эксплуатационной среды

области отрицательной температуры обязательно в присутствии жидкой фазы и определяется кристаллизацией воды в лед.

Имея в виду гипотезы о существовании физических явлений и процессов, приводящих к износу и морозному разрушению строительных материалов, выдвинутые и рассмотренные Н.А. Житкевичем (1912), Р. Коллинзом (1944), Т.С. Пауэрсом и Р.А. Хельмутом (1945, 1953) и в последующем получившие развитие в работах отечественных ученых С.В. Александровского, Р.Е. Бриллинга, А.С. Беркмана, Н.Н. Быкова, О.Е. Власова, Г.И. Горчакова, А.Д. Дикун, Л.Д. Добшица, Г.Г. Еремеева, Ф.М. Иванова, М.М. Капкина, А.И. Конопленко, К.Г. Красильникова, Б.А. Крылова, О.В. Кунцевича, И.Г. Мельникова, А.П. Меркина, Н.В. Михайлова, В.М. Москвина, И.А. Мощанского, В.А. Невского, Н.А. Попова, А.М. Подвального, И.С. Силаенко, Б.Г. Скрамтаева, В.В. Стольников, В.А. Ушерова-Маршака, А.Е. Шейкина, С.В. Шестоперова и др., а также в работах зарубежных ученых О. Блумеля и Х. Фрейя [1], Р. Валора [2], И. Гото и Т. Миура [3], У. Крейса, П. Контса, Х. Мармора [4], Б. Макинниса-Камерона [5], Л. Роннелса [6] и др., необходимо говорить о следующих явлениях, процессах, причинах и механизмах морозной деструкции бетонов.

В основе своей, в главном, морозное разрушение соотносят с развитием напряжений в твердой фазе материала при замерзании воды в его порах, сопровождающимся, как известно, увеличением примерно на 9% ее объема. Этот фактор возможных повреждений, связанный с появлением в структуре источника внутреннего давления и состоящий в действии давления кристаллизации льда (давления льдообразования), сопровождается сопутствующими ему гигромеханическими процессами: 1) нарастающим гидростатическим давлением воды при запаривании ее в замкнутом поровом объеме образующимся льдом; 2) гидравлическим давлением

воды при оттаивании ее льдом от зоны льдообразования в поры. Самостоятельным составляющим элементом в совокупном внутреннем давлении считается [7] также осмотическое давление, обусловленное изменением концентрации растворенных в поровой жидкости ионов при ее замерзании и соответствующим этому появлением градиента концентрации в микрообъемах охлаждаемого водонасыщенного материала (рис. 1).

Вне зависимости от фактора льдообразования действуют и другие факторы морозной деструкции. Именно поэтому необходимо специально остановиться на вопросе, что деструкция бетона непосредственно от льдообразования (от появления в его структуре криофазы как источника внутреннего давления) является *только частью* механического, физико-химического и физико-климатического износа и истощения ресурса его работоспособности при морозном воздействии среды на материал конструкции.

В микромасштабе структуры бетона накопление повреждений и морозное разрушение оказываются совокупным результатом:

- во-первых, «усталостной» термодеструкции, которая может проявляться в условиях многократного циклического нагревания-охлаждения материала при соответствующем влиянии фактора различия коэффициентов линейного температурного расширения (КЛТР) его составляющих на формирование напряженно-деформированного состояния структуры;

- во-вторых, «усталостной» деструкции в ходе многократного циклического набухания-усадки материала при соответствующем влиянии различия коэффициентов линейных влажностных деформаций (КЛВД) составляющих твердой фазы бетона – его цементирующей связки и наполнителей;

- в-третьих, «усталостной» деструкции, определяемой возможным влиянием различий коэффициентов температурного деформирования составляющих систе-

мы лед — твердая фаза в ходе многократного охлаждения-нагрева материала;

— в-четвертых, адсорбционного понижения прочности, которое может выражаться в так называемом влажностном размягчении материала (вспомним коэффициент размягчения материалов при их увлажнении);

— в-пятых, деструкции вследствие химической коррозии, обусловленной растворением в жидкой фазе субстанции контактов микрокристаллических новообразований системы твердения цемента или других вяжущих веществ;

— в-шестых, деструкции при появлении и действии внутреннего источника давления в ходе фазовых превращений влаги (кристаллизации ее в лед, рекристаллизации и декристаллизации льда в поровом пространстве), которые (превращения) сопровождаются действием кристаллизационного давления льда, гидравлического давления жидкой фазы, отжимаемой образующимся льдом, гидростатического давления жидкой фазы в порах материала, осмотического давления.

Таким образом, в соответствии с изложенным к основным явлениям, обуславливающим развитие деструктивных процессов в микромасштабе материала, следует отнести: давление кристаллообразования льда; гидравлическое и гидростатическое давление воды; осмотическое давление; объемное температурное и влажностное деформирование составляющих бетона (КЛТР и КЛВД); объемное деформирование льда и твердой фазы материала; химическую коррозию субстанции новообразований цементного камня.

С точки зрения существа механизмов износа бетона (в элементарном его объеме) обобщенно можно говорить о:

- 1) явлениях и факторах адсорбционного и коррозионного понижения прочности;
- 2) циклической «усталости»;
- 3) хрупком разрушении от действия «внутреннего источника» кристаллизационного, гидравлического, гидростатического, осмотического давления.

Механизм морозной деструкции бетона в конструкции

Рассмотрение и систематизацию явлений, процессов, механизмов и факторов морозного разрушения методологически, как указывалось, оправданно и необходимо вести (рис. 1) с учетом развития износа в системе материал — конструкция — среда, а не только в системе материал — среда, что обычно имеет место при исследовании и оценке морозостойкости бетонов.

Воздействие факторов эксплуатационной среды на строительную конструкцию, включающее влияние механической нагрузки, температуры, влажности, химического состава среды и др., обязательно сопровождается формированием градиентности напряженно-деформированного состояния и конструкции, и материала в конструкции. Это оказывается следствием в том числе динамической картины температурного состояния материала по сечению конструкции и связанного с ней изменения его влажностного состояния, не исключающего при этом возможности повышенного и предельного водонасыщения наружных его (материала) слоев в макрообъеме конструкции при ее охлаждении.

Именно возможность изменения влажностного состояния материала в конструкции по причине развития явлений термомассопереноса как раз и определяет принципиальное отличие механизма морозного разрушения материала при лабораторных режимах испытания его в образцах от разрушения его в объемах и слоях конструкции, находящихся в реальных эксплуатационных режимах, к тому же в условиях напряженного состояния от действия механической нагрузки.

Последний фактор в стандартных методиках лабораторных испытаний материала не учитывается. А между тем фактор напряженно-деформированного состояния бетона в конструкции от действия на нее механической нагрузки (при центральном, внецентренном сжатии, растяжении и т. п.) является принципиально важным для его морозной деструкции. Это показано в работах В.А. Невского, А.М. Подвального, Е.С. Силаенкова, А.А. Фебина, Е.М. Чернышова (Федин А.А., Чернышов Е.М., Парусимов В.Н. Стойкость силикатного ячеистого бетона в напряженном состоянии при переменном замораживании — оттаивании. Исследования по цементным и силикатным бетонам: Труды Проблемной лаборатории силикатных материалов и конструкций. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1966. Вып. 2. С. 127–142) и др.

Важно и имеет смысл специально отметить, что объяснение механизма разрушения бетона в конструкции при развитии соответствующей гигрометрической обстановки в материале может исходить из представлений об аналогии с природой морозного пучения грунтов, связываемого с термоградиентно-ориентированным перемещением жидкой фазы при промерзании грунтов с соответствующим льдовыделением в них линз, разделяющих массив грунта на слои. Эти представления заложены работами В.И. Штукенберга (1885) и определяются также исследованиями К.О. Никифорова (1912), А.Ф. Лебедева (1919), М.И. Сумгина (1929), Тебера (1929), Н.А. Цытовича (1937), Рюкли (1943), О.С. Вялова (1954), П.А. Шумского (1955), И.А. Тютюнова (1959), Ш.Ш. Гасанова (1967), П.Ф. Швецова (1986), И.Д. Данилова (1990).

В замораживаемых строительных материалах миграция влаги экспериментально подтверждена в работах Р.Е. Бриллинга (Брилинг Р.Е. Исследование морозостойкости строительных материалов в наружных ограждениях: Сборник трудов ЦНИПС. 1951), Г.И. Горчакова (Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях в промышленных и гидротехнических сооружениях. 1965), А.И. Конопленко (Конопленко А.И. К вопросу теории морозостойкости бетона. Вопросы строительства и производства строительных изделий: Сборник трудов РИСИ. 1958), А.А. Фебина и Е.М. Чернышова (Федин А.А., Чернышов Е.М., Леденев В.Т. Исследование влияния условий замораживания на стойкость газосиликата. Исследования по цементным и силикатным бетонам: Труды Проблемной лаборатории силикатных материалов и конструкций. 1966) в специально поставленных исследованиях по одностороннему фронтальному замораживанию строительных конструкций. В таком режиме замораживания содержание жидкой фазы в бетоне, не имевшем до этого критического водонасыщения пор, достигало вследствие массопереноса критических значений в приповерхностных слоях ограждающей конструкции. При этом льдообразование приводило, например, газосиликат к быстрому (в течение одного цикла) «слоистому» разрушению.

Таким образом, параметры градиентности состояния конструкции обуславливают отличие механизмов развития и динамики деструкции бетона на уровне отдельных его микрообъемов (микромасштабный уровень деструкции) и на уровне макрообъема в конструкции (макромасштабный уровень деструкции).

Поясним причины этого. В лабораторных режимах испытания бетона на морозостойкость явления термомассопереноса развиваются в условиях всесторонности действия фронта охлаждения объема материала в образцах относительно малого размера. В них процессы перемещения влаги в материале имеют весьма ограниченное

Стадия замораживания			Стадия оттаивания		
Область положительной температуры	Область «внутренних нулей»	Область низкой отрицательной температуры	Область низкой отрицательной температуры	Область «внутренних нулей»	Область положительной температуры
+t°С	0°С	-t _{зам}	-t _{пред}	-t _{отт}	0°С +t°С
ТФ – ГФ – ЖФ	ТФ – ГФ – ЖФ – КФ	ТФ – ГФ – КФ	ТФ – ГФ – КФ	ТФ – ГФ – КФ – ЖФ	ТФ – ГФ – ЖФ
Действие факторов напряжений и декструкции бетона по стадиям и температурным областям цикла замораживания-оттаивания					
Термоградиентные напряжения бетона и конструкции					
Микронапряжения в бетоне вследствие различия КЛТР и КЛВР его компонентов					
Термоградиентная миграция влаги		Температурные деформации криофазы	Термоградиентная миграция влаги		
Подсасывающая сила кристаллизации			Уменьшение действия сил кристаллизации		
Давление кристаллизации криофазы		Смерзание стенок пор		Тепловое расширение криофазы	
Напряжение вследствие различия термодформации ТФ и КФ					
Гидравлическое давление воды			Плавление льда		
Гидростатическое давление воды					
Сегрегационное льдообразование					
Рекристаллизация льда					

Рис. 2. Изменение агрегатно-фазового состояния бетона и действие факторов напряжений и декструкции бетона в цикле замораживания-оттаивания

проявление в силу всесторонности и краткосрочности морозного воздействия в стандартном цикле замораживания-оттаивания образцов. Жидкая фаза в структуре бетона замерзает «на месте», без какого-либо существенного ее переноса по объему образца и поэтому без возможности появления в материале зон с опасным увеличенным влагосодержанием.

В противовес этому фронтально одностороннее воздействие среды на конструкцию в реальных эксплуатационных режимах сопровождается закономерным развитием явно выраженных процессов термомассопереноса, и в условиях длительного охлаждения проявляется в полной мере. В результате создается возможность формирования в материале конструкции зон с близкой к критической или даже к критической, более 91% по объему, величиной содержания жидкой фазы в поровом пространстве структуры бетона.

В итоге в конструкции (в макромасштабе) морозное разрушение бетона включает все рассмотренные для материала как такового явления и механизмы декструкции, но с существенным пополнением их состава. И именно потому, что реализация механизма декструкции в конструкции развивается на фоне формирующегося в ней градиентного термического и влажностного состояния.

Морозное разрушение в макромасштабе поэтому дополнительно может включать:

- во-первых, послонную термодекструкцию материала (десквамацию), определяемую термическими напряжениями в конструкции вследствие неравномерности теплового поля в ее сечении;
- во-вторых, послонную термовлажностную декструкцию материала (десквамацию) по причине неравномерности влажностных деформаций (набухания-усадки) его слоев в объеме конструкции;
- в-третьих, послонную декструкцию от сегрегативного льдообразования, проходящего в слоях сечения с повышенным содержанием влаги в бетоне, которое оказывается результатом термоградиентной ее мигра-

ции, а также подтягивания ее силами кристаллизации льда из слоев, прилегающих к формирующемуся сегрегату, к линзе льда.

Агрегатно-фазовое состояние бетона в цикле замораживания-оттаивания

Рассматривая и характеризуя совокупность факторов и механизмов морозной декструкции в микро- и макромасштабе, необходимо остановиться на вопросе дифференциации агрегатно-фазового состояния увлажненного материала в цикле его замораживания-оттаивания.

При такой дифференциации [8] целесообразно предварительно указать на то, что стадия замораживания включает в себя (рис. 2):

а) начальный период охлаждения увлажненного материала в области положительной температуры (до 0°С среды);

б) период последующего охлаждения увлажненного материала в области квазиположительной температуры от 0°С среды до так называемых «внутренних температурных нулей» (существование их отражает возможность переохлажденного состояния жидкой фазы в порах, определяемого зависимостью температуры замерзания воды от давления [9, 10], под которым она оказывается в порах разного размера с разным энергетическим состоянием твердой фазы поверхности стенок пор);

в) период продолжающегося охлаждения в области температуры ниже «внутренних нулей», т. е. в области наибольших значений отрицательной температуры.

В свою очередь, стадия оттаивания в цикле в себя включает:

а) нагревание материала от наибольших значений отрицательной температуры до «внутренних нулей»;

б) нагревание в области квазиотрицательной температуры (от «внутренних нулей» материала до 0°С среды);

в) нагревание в области положительной температуры (выше 0°С среды).

Увлажненный материал конструкции, оказываясь в названных температурных областях цикла замораживания-оттаивания, меняет свое агрегатно-фазовое состояние в смысле соотношения в нем объемов твердой (ТФ), газовой (ГФ), жидкой (ЖФ) фаз и криофазы КФ (в смысле льдистости). Материал может иметь различную льдистость в результате меняющейся в цикле меры перехода воды в лед в зависимости от структуры твердой фазы и порового пространства бетона (Ананян А.А. Особенности воды в промерзающих тонкодисперсных горных породах. Поверхностные силы в тонких пленках и дисперсных системах: Сборник докладов научной конференции. 1970; Важенин Б.В. Заморозание воды в строительных материалах // Строительные материалы. 1965. № 10; Важенин Б.В. Гистерезис льдистости и воздействие льда на стенки пор строительных материалов. Строительные материалы и бетоны: Выпуск трудов. Челябинск. 1967; Железный В.И. Некоторые особенности льдообразования в гидрофобизированных ячеистых бетонах // Бетон и железобетон. 1965. № 12).

В диапазоне квазиположительной и квазиотрицательной температуры система замораживаемого материала представлена четырехфазным агрегатным составом ТФ – ГФ – ЖФ – КФ с непрерывным изменением соотношения фаз и льдистости. Такое изменение оказывается следствием возможного перехода системы ЖФ – КФ или КФ – ЖФ через «внутренние нули». Определяющим фактором такого перехода является закономерное различие «внутренних нулей» у этих систем в соотношении этого различия с размером пор в твердой фазе, с энергетическим состоянием поверхности твердой фазы в порах, а в целом с энергонасыщенностью, энергонравновесностью порового пространства бетона [11, 12].

В области температуры ниже всех «внутренних нулей» (в области предельно низкой температуры), когда гипотетически полагается возможным переход практически всего объема жидкой фазы в лед, следует говорить о трехфазном составе системы ТФ – ГФ – КФ.

Обратимся к вопросу об особенностях и существовании морозной деструкции бетона с учетом рассмотренных возможных изменений его фазового состава в цикле замораживания-оттаивания.

В связи с этим отметим, что деструкция материала, если дело не доходит до образования криофазы, развивается в системе ТФ – ЖФ – ГФ или даже ТФ – ЖФ (гипотетический вариант ситуации предельно водонасыщенного материала). И здесь работает своя система явлений, факторов и механизмов деструкции, своя сумма сил накопления повреждений и износа, не связанная с льдообразованием.

Если же имеет место образование криофазы, то работает еще и криодеструкция. Она развивается в системе ТФ – ЖФ – ГФ – КФ, существенно дополняя сумму сил износа.

Обратим внимание на важнейший момент, состоящий в том, что формирование криофазы в бетоне приводит к появлению полиструктурного композита, в котором структура льда (как самостоятельного компонента и материала) размещается в структуре бетона. Структура льда оказывается импрегнированной в конгломератную структуру бетона, из чего следует, что напряжения при формировании криофазы будет воспринимать на себя не бетон, а композит из бетона и льда (в этом смысле можно говорить о сходстве такого композита с бетонополимером). И несомненно, что потенциал сопротивления композита из бетона и льда при действии на него напряжений будет отличаться от потенциала сопротивления просто бетона.

В каждый момент цикла замораживания-оттаивания соответственно приобретаемому агрегатно-фазовому

составу бетон меняет свое состояние, а потому и свои свойства по характеристикам температурной и влажностной деформируемости, тепло- и влагопроводности, газо- и паропроницаемости и, что наиболее важно, по критериям сопротивления хрупкому разрушению – модулю деформативности, пределу прочности и трещиностойкости [13].

Данный вывод имеет важное, более того, принципиальное значение для моделирования процессов морозной деструкции материалов, для прогнозирования ее последствий в ситуации, когда конструктивные и функциональные характеристики материала оказываются переменными во времени.

Критериальные условия управления морозной деструкцией бетона в конструкциях

Учитывая градиентный характер охлаждения материала в конструкции, необходимо помнить, что криодеструкция в ее качественных и количественных проявлениях оказывается производной трех процессов и их характеристик:

- а) термоградиентного влагопереноса, его кинетики и меры;
- б) сегрегативного образования криофазы и ее состояния;
- в) влагопереноса под действием подсосывающей силы кристаллизации льда при появлении и формировании его сегрегата в бетоне.

В обосновании критериальных условий морозного разрушения бетона в конструкции прежде всего представляет интерес размещение явлений, процессов и факторов деструкции по циклу замораживания-оттаивания, по температурным областям цикла (рис. 2).

С началом одностороннего фронтального охлаждения конструкции в ней уже в области положительной температуры среды и конструкций развиваются термические макронапряжения, которые являются следствием градиентности температурного поля в теле конструкции, в ее рабочем сечении. На фоне термических макронапряжений в поверхностных слоях одновременно проявляются термические микронапряжения из-за различия КЛТР составляющих твердой фазы бетона.

Послойное одностороннее фронтальное охлаждение поверхности конструкции приводит в действие процесс термоградиентной миграции влаги, обуславливающей нарастание влагосодержания в охлаждаемых зонах материала за счет обезвоживания внутренних слоев материала в конструкции.

Термоградиентная миграция влаги в зависимости от начального влагосодержания, интенсивности и продолжительности охлаждения конструкции, определяемых условиями эксплуатационной среды, способна существенно повысить в приповерхностных ее слоях степень наполнения пор бетона водой, вплоть до критической ее величины (более 91% по объему).

С переходом температуры через 0°С среды и дальнейшим развитием процесса охлаждения запускается процесс кристаллизации льда в порах. По температурному режиму охлаждения конструкции начало процесса льдообразования соответствует положению «внутренних нулей» в структуре бетона, т. е. величине квазиположительной температуры, при которой оказываются возможными переход жидкой фазы в лед и действие кристаллизационного давления от льдообразования. Накопление криофазы «стартует» при температуре, названной авторами «внутренние нули».

Поскольку каждому размеру пор конкретного (по структуре) материала с определенной энергетикой поверхности твердой фазы стенок пор отвечает свое положение «внутреннего нуля», можно говорить о том, что

область квазиположительной температуры как интервала от 0°C среды до конкретного «внутреннего нуля» дифференцирована согласно размерам пор и свойствам поверхности твердой фазы стенок пор. По этой причине с учетом целенаправленного формирования в материале: а) функции распределения пор по размерам; б) различного энергетического состояния твердой фазы в принципе можно говорить об изменении границ и интервала подвижной температуры перехода системы ТФ – ГФ – ЖФ в систему ТФ – ГФ – ЖФ – КФ. Отсюда следует вывод о первом критериальном условии управления морозной деструкцией бетона в конструкции, состоящем в изменении температуры перехода воды в лед за счет формирования соответствующей структуры материала.

Кристаллизация льда в бетоне при градиентном охлаждении конструкции реализуется сегрегативно с образованием линзы льда вблизи охлаждаемой поверхности конструкции. К линзе льда силами его кристаллизации подтягивается дополнительное количество воды из прилегающих объемов материала. Сегрегативное льдообразование сопровождается обезвоживанием прилегающих объемов материала и остановкой фронта холода в конструкции из-за экзотермического эффекта процесса кристаллизации льда. Сегрегативное льдообразование выступает в качестве основного фактора появления растягивающихся, расклинивающих напряжений и как результат этого фактора деструкции материала в односторонне охлаждаемой конструкции.

Развивающаяся кристаллизация льда в виде линзы (сегрегата) и разрушающее ее действие, естественно, дополняются действием гидравлического и гидростатического давления воды, действием осмотического давления. Морозная деструкция при сегрегативном льдообразовании выглядит в форме разделения массива бетона в конструкции на отдельные его слои, которые оказываются заметно обезвоженными. В области низкой температуры деструктивным фактором выступает также различие температурного деформирования замороженных и непромороженных слоев конструкции (макромасштабный аспект), а дополнительно к этому различие температурного деформирования льда и твердой фазы материала (микромасштабный аспект).

С переходом процесса из стадии охлаждения (замерзания) в стадию нагревания (оттаивания) в области низкой температуры продолжают действовать те же деструктивные факторы – различие температурного деформирования слоев конструкции (макромасштаб) и различие температурного деформирования (теперь уже при тепловом расширении льда) и твердой фазы материала (микромасштаб).

При дальнейшем нагревании система оказывается в области квазиотрицательной температуры (по температурным границам она совпадает с областью квазиположительной и названа по аналогии с ней). При квазиотрицательной температуре в соответствии с положением «внутренних нулей» происходит плавление (таяние) криофазы, снимается действие кристаллизационного давления льда, перераспределяется образующаяся жидкая фаза (вследствие подсоса ее льдом крупных пор). Жидкая фаза в них может повторно замораживаться.

При переходе температуры через 0°C среды весь объем КФ заменяется жидкой фазой и система оказывается представленной трехфазовым составом ТФ – ГФ – ЖФ.

В области положительной температуры в силу градиентности теплового состояния конструкции, безусловно, действуют и факторы деструкции, связанные с различием меры деформирования слоев материала конструкции, меры деформирования (КЛТР) отдельных составляющих бетона. В этой области происходит изменение влажностного состояния материала и кон-

струкции в силу термоградиентного массопереноса и оттока влаги из области сегрегативного льдообразования. Соответственно этому проявляется влияние влажностной деформируемости слоев материала на напряженное состояние конструкции. Аналогично проявлению фактора КЛТР действует и фактор различия меры влажностной деформируемости (КЛВД) составляющих бетона.

Из изложенного ясно, что во всех температурных областях в той или иной мере обязательно присутствует влагоперенос, оказывающий влияние на развитие процессов износа, в том числе износа от морозной деструкции. Отсюда следует вывод о втором критериальном условии управления морозной деструкцией бетона в конструкции, состоящем в изменении термовлагопроводных свойств материала, что можно осуществить за счет формирования соответствующей его структуры.

Заключение

Во всех процессах морозной деструкции определяющее место принадлежит структурным и связанным с ними гигрометрическим характеристикам материала. Именно они задают интенсивность и меру развития всех основных процессов износа при замораживании-оттаивании, а тем самым скорость и меру морозного разрушения.

В этой связи необходимо расставить следующие акценты, имеющие значение для обоснования принципов и факторов управления морозной деструкцией и в конечном счете морозостойкостью бетонов в конструкциях.

Первое критериальное условие морозной деструкции связано с фактором температуры перехода жидкой фазы в криофазу (температуры замерзания воды в порах материала) и соответствующей этому фактору меры льдистости в замороженном материале. Температура замерзания и льдистость завясят от силы связи воды со структурой материала, предопределяемой хемосорбционной и адсорбционной активностью поверхности твердой фазы (характеризуется теплотой смачивания $q_{\text{тв.ф}}$), сродством жидкой фазы к твердой фазе (характеризуется краевым углом смачивания θ), распределением объема порового пространства по радиусу пор $dr_{\text{пор}}/dV_{\text{пор}}$ (характеризуется средним эквивалентным радиусом пор r_3).

При варьировании этих структурных характеристик может быть получена различная мера льдистости; в принципе же можно сформировать структуру и с такими параметрами, при которых льдообразования в бетоне вообще (при характерной для эксплуатации конструкций отрицательной температуре) не будет происходить. В таких структурах сила кристаллизации для перехода воды в лед окажется недостаточной для перориентации молекул адсорбционно-конденсационной и капиллярно-связанной воды в структуру льда.

Следует полагать, что развитие процессов морозной деструкции при варьировании состава и структуры материала будет определяться различным соотношением механизмов износа материала и различным при этом их вкладом.

Вторым критериальным условием, определяющим развитие морозной деструкции, является фактор массопроводности материала в термоградиентных условиях его эксплуатации в конструкции. По аналогии с рассмотрением первого критериального условия можно представить структуры материала, обладающие такой силой связи воды с твердой фазой и поровым пространством, при которой достижение термодинамического (теплового) равновесия в односторонне охлаждаемой конструкции будет обеспечиваться не тепломассоперено-

сом, а преимущественно теплопереносом без сколько-нибудь существенной миграции влаги из теплых зон в охлаждаемые зоны. В этом случае не смогут формироваться слои с критическим влагосодержанием в материале и будет сдерживаться (а возможно, исключаться) сегрегативное льдообразование.

Рассмотренные два критериальных условия морозной деструкции бетона относятся преимущественно к вопросам управления формированием микропористости их структур, характеристик структуры твердой фазы.

Другое направление соотносится с созданием так называемого резервного объема макропористого пространства в бетоне. В этот объем может гидравлически отжиматься жидкая фаза при льдообразовании в заполненных водой капиллярных порах, в результате чего будет снижаться давление от льдообразования. Это направление по сути своей также подразумевает регулирование гигрометрических характеристик бетона, а на этой основе возможность управления процессами теплопереноса при замораживании-оттаивании и в итоге управления интенсивностью морозной деструкции материала.

Поскольку реальные процессы механического, физико-химического и физико-климатического воздействия среды характеризуются определенной продолжительностью, скоростью, интенсивностью, цикличностью, степенью непрерывности, в эксплуатируемых конструкциях наблюдается сложная картина морозного поведения материала и проявления характера криодеструкции, усугубляющаяся еще и неравномерностью по сечению конструкции в период ее работы до воздействия мороза. Тем не менее предложенная систематика явлений и процессов, рассмотренные механизмы и факторы морозной деструкции, их дифференциация по циклу замораживания-оттаивания имеют методологическое и методическое значение для постановки исследований по обоснованию условий управления морозостойкостью бетонов и строительных конструкций из них.

Список литературы

1. Blumel O.W., Frey H. Sättigungsbeiwert und frostwider – stand von zementmörtel // *Betonstein – Ztg.* 1968. Vol. 34. No. 12.
2. Valore R.C. Volume changes in stall concrete cylinders during freezing and thawing // *JASI.* 1950. Vol. 21. No. 6.
3. Goto Y., Miura T. Deterioration of concrete subjected to repetitions of very low temperatures // *Transactions of the Japan concrete institute.* 1979. No. 2, pp. 183–190.
4. Крейс У.И., Контс П.Р., Мармор Х.Г. О деформациях автоклавных бетонов при попеременном замораживании и оттаивании. *Долговечность конструкций из автоклавных бетонов: Сборник докладов II Республиканской конференции.* Таллинн, 1975. С. 112–114.
5. Macinnis Cameron B.E., Beandoin J. Effect of degree of saturation of the frost resistance of mortar mixes // *JACI.* 1968. No. 3.
6. Роннелс Л.К. Лед. Физика твердого тела. Атомная структура твердых тел: Сборник статей / Пер. с англ. М.: Наука, 1972. С. 38–48.
7. Ушеров-Маршак А.В. Бетонovedение: Современные этюды. Харьков: Раритеты Украины. 2016. 135 с.
8. Чернышов Е.М., Медведева С.В. Систематика факторов морозной деструкции бетонов. *Бетон и железобетон – ресурс- и энергосберегающие конструкции и технологии: Сборник докладов областной конференции по бетону и железобетону.* Воронеж, 1988. С. 40–49.
9. Дерпгольц В.Ф. Мир воды. Л.: Недра. 1979. 254 с.
10. Синуков В.В. Вода известная и неизвестная. М.: Знание, 1987. 176 с.
11. Чернышов Е.М., Славчева Г.С. О структуре порового пространства строительных материалов с позиций и в категориях наноконцепции. *Международный конгресс «Наука и инновации в строительстве «SIB-2008». Современные проблемы строительного материаловедения и технологии.* Воронеж, 2008. Т. 1. Кн. 2. С. 630–636.
12. Чернышов Е.М., Славчева Г.С., Коротких Д.Н. Структура порового пространства твердофазных строительных материалов: материаловедческое обобщение. *Вестник Отделения строительных наук.* Москва – Орел. 2009. Вып. 13. Т. 2. С. 119–126.
13. Чернышов Е.М., Дьяченко Е.И. Методика оценки вязкости разрушения силикатных автоклавных материалов. Воронеж: Воронежская ГАСА, 1990. 33 с.

References

1. Blumel O.W., Frey H. Sättigungsbeiwert und Frostwider – stand von Zementmörtel. *Betonstein – Ztg.* 1968. Vol. 34. No. 12.
2. Valore R.C. Volume changes in stall concrete cylinders during freezing and thawing. *JASI.* 1950. Vol. 21. No. 6.
3. Goto Y., Miura T. Deterioration of concrete subjected to repetitions of very low temperatures. *Transactions of the Japan concrete institute.* 1979. No. 2, pp. 183–190.
4. Kreis U.I., Kots P.R., Marmor H.G. On deformations autoclave concrete at alternate freezing and thawing. *The durability of concrete structures of the autoclave: Proceedings of the II-nd Republican Conference.* Tallinn. 1975, pp. 112–114. (In Russian).
5. Macinnis Cameron B.E., Beandoin J. Effect of degree of saturation of the frost resistance of mortar mixes. *JACI.* 1968. No. 3.
6. Ronnels L.K. Led. Fizika tverdogo tela. Atomnaya struktura tverdykh tel: Sbornik statei [Ice. Solid State Physics. The atomic structure of solids: collection of articles. Ed. from English]. Moscow: Nauka. 1972, pp. 38–48.
7. Usherov-Marshak A.V. Betonovedenie: Sovremennye jetjudy. [The Science of concrete: Modern studies]. Kharkov: Rarities Ukraine. 2016. 135 p.
8. Chernyshov E.M., Medvedeva S.V. Systematics factors frosty destruction of concrete. *Concrete and reinforced concrete – resource- and energy-efficient designs and technologies: Proceedings of the Regional Conference on concrete and reinforced concrete.* Voronezh. 1988, pp. 40–49. (In Russian).
9. Derpgolts V.F. Mir vody [Water World]. Leningrad: Nedra. 1979. 254 p.
10. Sinyukov V.V. Voda izvestnaja i neizvestnaja. [Water is known and unknown]. Moscow: Znanie. 1987. 176 p.
11. Chernyshov E.M., Slavcheva G.S. On the structure of the pore space of the building materials from the standpoint and in terms of the concept of nano. *International Congress «Science and Innovation in Construction «SIB-2008». Modern problems of building materials and technology.* Voronezh. 2008. Vol. 1. Book. 2, pp. 630–636. (In Russian).
12. Chernyshov E.M., Slavcheva G.S., Korotkich D.N. The structure of the pore space of the solid phase of building materials: materials science generalization. *Bulletin of the Department of Building Sciences.* Moscow-Orel. 2009. Iss. 13. Vol. 2, pp. 119–126. (In Russian).
13. Chernyshov E.M., Dyachenko E.I. Metodika ocenki vjazkosti razrusheniya silikatnyh avtoklavnyh materialov. [Methodology to evaluate the fracture toughness autoclave silicate materials]. Voronezh: Voronezh GASA. 1990. 33 p.

УДК 624.154.542

Н.С. СОКОЛОВ^{1,2}, канд. техн. наук, директор (forstnfp@mail.ru, ns_sokolov@mail.ru);
С.С. ВИКТОРОВА¹, инженер, Г.М. СМЕРНОВА¹, инженер, И.П. ФЕДОСЕЕВА¹, инженер

¹ Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (428015, Россия, Чувашская Республика,
г. Чебоксары, Московский пр., 15)

² ООО НПФ «ФОРСТ» (428000, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Калинина, 109а)

Буроинъекционная свая ЭРТ как заглубленная железобетонная конструкция

Буроинъекционная свая, изготовленная по разрядно-импульсной технологии (свая ЭРТ), обладает рядом конкурентных преимуществ по сравнению с буроинъекционными сваями, изготавливаемыми по традиционным технологиям. Это повышенные (на 40–60%) значения прочности мелкозернистого бетона; повышенные (в 1,5–3 раза) значения несущей способности по грунту; повышенные (в 1,5 раза и более) значения несущей способности по прочности поперечного сечения; рост значений несущей способности как по грунту, так и по телу во времени по сравнению с проектными значениями. Кроме того, электрогидравлическая обработка мелкозернистого бетона повышает его водонепроницаемость.

Ключевые слова: буроинъекционные сваи ЭРТ, прочность поперечного сечения, несущая способность, рабочая арматура, многоместные уширения.

Для цитирования: Соколов Н.С., Викторова С.С., Смирнова Г.М., Федосеева И.П. Буроинъекционная свая ЭРТ как заглубленная железобетонная конструкция // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 47–49.

N.S. SOKOLOV^{1,2}, Candidate of Sciences (Engineering), Director (forstnfp@mail.ru, ns_sokolov@mail.ru),

S.S. VIKTOROVA¹, Engineer, G.M. SMIRNOVA¹, Engineer, I.P. FEDOSEEVA¹, Engineer

¹ Chuvash State University named after I.N. Ulyanov (15, Moskovsky Avenue, 428015, Cheboksary, Chuvash Republic, Russian Federation)

² ООО НПФ «FORST» (109a, Kalinina Street, 428000, Cheboksary, Chuvash Republic, Russian Federation)

Bored-Injection Pile-ERT as a Buried Reinforced Concrete Structure

A bored-injection pile made according to the discharge-impulse technology (pile-ERT) has some competitive advantages comparing with bored-injection piles made according to traditional technologies. They are the improved strength values of fine concrete (by 40–60%); enhanced (by 1.5–3 times) the values of bearing capacity relating to soil; enhanced (by 1.5 times and more) values of the bearing capacity relating to the strength of the cross-section; enhancing the values of the bearing capacity relating to both the soil and the body in time comparing with design values. Besides, the electro-hydraulic treatment of the fine concrete improves its waterproofing.

Keywords: bored-injection piles-ERT, strength of cross-section, bearing capacity, working reinforcement.

For citation: Sokolov N.S., Viktorova S.S., Smirnova G.M., Fedoseeva I.P. Bored-injection pile-ert as a buried reinforced concrete structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 47–49. (In Russian).

Современные геотехнические технологии [1, 2] позволяют изготавливать буроинъекционные сваи с повышенными значениями несущей способности. Разрядно-импульсная технология устройства свай (сваи ЭРТ) является наиболее приспособленной для достижения этих целей.

Наиболее интересным представляется устройство свай ЭРТ с многоместными уширениями [3–7]. Благодаря устройству уширений вдоль ствола сваи и под ее пятой создается возможность устройства заглубленной железобетонной конструкции с возможностью регулирования несущей способности как по грунту, так и по телу.

Технология устройства свай с многоместными уширениями известна с 1960-х гг. Опыт использования таких свай есть в Индии, ФРГ, Великобритании, Японии, России. Конструкция такой сваи представляет собой буровую сваю с уширением на пяте. Кроме того, в зависимости от типа инженерно-геологических условий и требуемой несущей способности сваи выше пяты вдоль ствола устраиваются дополнительные уширения [3, 4, 6].

Свая с многоместными уширениями работает как железобетонная заглубленная конструкция, имеющая количество опор, соответствующих числу уширений. На начальном этапе нагружения в работу вступает верхнее уширение. По мере увеличения нагрузки постепенно включаются нижележащие уширения, при этом каждое уширение выполняет функцию дополнительной опоры.

Практика изготовления таких свай показала их высокую эффективность. Несущая способность свай по грунту с одним уширением в 2–2,5 раза, а с двумя — в 3–3,5 раза выше, чем у свай, выполненных без уширений [3, 4, 6].

Достоинствами буроинъекционных свай ЭРТ с многоместными уширениями являются:

- простота выполнения (добавляется одна легковыполняемая операция);
- возможность точного определения места устройства уширения (определяется по уходу мелкозернистой бетонной смеси);
- возможность устройства необходимого количества уширений по расчету несущей способности вдоль длины сваи;
- минимизация технологических осадок;
- максимальная по сравнению с любыми другими технологиями устройства буровых свай усиления несущая способность сваи как по грунту, так и по материалу.

Расчет несущей способности свай ЭРТ с многоместными уширениями по пяте аналогичен расчету буровых свай по формуле 7.11 СП 24.13330.2011 «Актуализированная редакция СНиП 2.02.03–85. Свайные фундаменты», при этом диаметр уширения определяется согласно табл. 2.3 ТР 50–180–06 «Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повы-

вающие требуемую толщину защитного слоя бетона. Фиксирующие элементы могут выполняться из металла или пластика и крепиться с трех или четырех сторон арматурного стержня или каркаса на расстоянии 8–10 диаметров скважины друг от друга.

В качестве продольной арматуры свай ЭРТ используется горячекатаная арматурная сталь класса АIII и АIV диаметром от 12 до 40 мм включительно. Продольная арматура располагается равномерно по контуру сваи с расстоянием в свету между отдельными стержнями не менее диаметра стержня и не менее 50 мм. Общая площадь сечения продольной арматуры должна составлять не менее 0,5 % и не более 10 % от площади сечения бетона, в том числе в зоне стыкования секций.

В грунтовых условиях, исключающих потерю продольной устойчивости ствола сваи, рекомендуется выполнять центральное армирование. Оно выполняется из отдельного стержня, пучка стержней, трубы, прокатного или сварного профиля или их сочетаний, например трубой, усиленной по периметру арматурными стержнями или проволокой.

Поперечная арматура арматурных каркасов свай ЭРТ изготавливается в виде спиралей или круглых вязаных или сварных хомутов из арматуры класса В500 диаметром не менее 5 мм или класса А240 диаметром 6–10 мм с шагом не более 10 диаметров стержней продольной арматуры и не более 150 мм.

При установке поперечной арматуры, требуемой по расчету на действие поперечных сил, шаг хомутов принимается не более 1/2 диаметра сваи.

Зона стыкования секций армокаркасов дополнительно усиливается спиральной арматурой с шагом не более 100 мм. Диаметр поперечной арматуры в вязаных каркасах принимается не менее 1/4 диаметра стержней продольной арматуры, а в сварных каркасах устанавливается из условия сварки сваи [5].

Арматурные каркасы изготавливают, как правило, в заводских условиях на приводных станках контактной сваркой.

Список литературы

- Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2012. № 2. С. 17–20.
- Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб.: Геореконструкция, 2010. 551 с.
- Соколов Н.С., Рябинов В.М. Особенности устройства и расчета буроналивных свай с многоступенчатыми уширениями // *Геотехника*. 2016. № 3. С. 60–66.
- Соколов Н.С., Рябинов В.М. Технология устройства буроналивных свай повышенной несущей способности // *Жилищное строительство*. 2016. № 9. С. 11–14.
- Соколов Н.С., Джантимиров Х.А. Расчет и проектирование буроналивных свай ЭРТ (ФОРСТ, ЭРСТ). Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2016. 103 с.
- Соколов Н.С. Определение несущей способности буроналивных свай – РИТ со сформированными подпятниками // *Материалы 7-й Всероссийской (1-й Международной) конференции «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции» (НАСКР-2012)*. Чебоксары: ЧГУ им. И.Н. Ульянова, 2012. С. 289–292.
- Соколов Н.С., Рябинов В.М. Об одном методе расчета несущей способности буроналивных свай ЭРТ // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2015. № 1. С. 10–13.

Допускается использование электродуговой сварки для случая использования поперечной арматуры класса А240 диаметром более 10 мм.

Соединение арматурных каркасов по длине сваи осуществляется стыковкой отдельных секций с помощью вязальной проволоки или с помощью сварных стыков. Сварные стыки должны обеспечивать равнопрочность арматуры и удобство производства работ по инъектированию бетонной смеси. Сварное соединение арматурных каркасов рекомендуется выполнять с помощью стыковочного трубчатого элемента, к которому дугowymi фланговыми швами привариваются стыкуемые арматурные стержни (нахлесточное сварное соединение).

Сжатые одиночные стержни и каркасы рекомендуется соединять запрессовкой несварным стыком, обеспечивающим расчетное сопротивление на сжатие. Допускаются неравнопрочные стыки, например шарнирные.

Толщина защитного слоя арматурного каркаса микросвай должна быть не менее 80 мм. Допускается уменьшение толщины защитного слоя до 20 мм в случае применения специальных мероприятий (защитные антикоррозийные покрытия арматуры, защита арматурного каркаса рукавом из полимерной ткани или специальной гофрированной полимерной трубкой и т. д.)

На рисунке приведен пример армирования буроналивной сваи ЭРТ СР-15-30 длиной 15 м и $\varnothing 300$ мм с двумя уширениями вдоль ствола и уширением по пяте. Диаметры уширений составляют: верхнее – 415 мм; нижнее – 395 мм, а по пяте – 410 мм. Продольное армирование запроектировано из пространственных каркасов КП-1 и КП-2. Соединение каркасов, состоящих из шести стержней $\varnothing 18$ А500, производится вязальной проволокой с нахлестом не менее 40 диаметров – 800 мм (узел 1 на рисунке). Возможен вариант сварного соединения. При этом размер нахлеста составляет не менее 20 диаметров – 400 мм. Для создания защитного слоя бетона использована стальная полоса (фиксатор каркаса – узел 3 на рисунке) шириной $b = 20$ мм и толщиной $t = 4$ мм.

References

- Il'ichev V.A., Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Development of underground space in large Russian cities. *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov*. 2012. No. 2, pp. 17–20. (In Russian).
- Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotechnical maintenance of urban development. *Georeconstructsiya*. 2010. 551 p.
- Sokolov N.S., Ryabinov V.M. Features of Installation and Calculation of Bored-Injection Piles with Multiple Enlargements. *Geotechnica*. 2016. No. 3, pp. 60–66. (In Russian).
- Sokolov N.S., Ryabinov V.M. Technique of Construction of Bored-Injection Piles of Increased Bearing Capacity. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2016. No. 9, pp. 11–14. (In Russian).
- Sokolov N.S., Dzhantimirov H.A. Calculation and design of Bored-Injection EDT-piles (FORST, ERST). *Cheboksary – 2016*. 103 p. (In Russian).
- Sokolov N.S. Calculation of bearing capacity of bored-injection EDT-piles with formed «thrust bearings». *Materials of the 7th All-Russian (the 1st International) the «New in Architecture, Designing of Construction Designs and Reconstructions» conference (NASKR-2012)*. *Cheboksary – 2012*, pp. 289–292. (In Russian).
- Sokolov N.S., Ryabinov V.M. About one method of calculation of bearing capacity of bored-injection EDT-piles. *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov*. 2015. No. 1, pp. 10–13. (In Russian).

Л.И. ХУДЯКОВА, канд. техн. наук, (lkhud@binm/bscnet), О.В. ВОЙЛОШНИКОВ, канд. техн. наук

Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук
(670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6)

Перспективы использования серпентинизированных пород в качестве минерального порошка для асфальтобетона

Рассмотрена возможность использования серпентинизированных пород в качестве минерального порошка при производстве асфальтобетонов. Изучена зависимость адсорбционной активности порошков от их удельной поверхности, времени взаимодействия с битумом, а также вида измельчаемой породы. Лучшими показателями адсорбции обладают минеральные порошки из серпентинита, измельченного до величины удельной поверхности 300 м²/кг. Время адсорбции битума на его поверхности должно составлять не менее 15 мин. Изучены физико-химические свойства порошков. Установлено, что у них низкая пористость, повышенная водостойкость, они не набухают при смешивании с битумом. По своим характеристикам минеральные порошки из серпентинизированных пород соответствуют требованиям ГОСТа и могут применяться в качестве сырьевого материала в дорожном строительстве.

Ключевые слова: минеральный порошок, асфальтобетон, битум, серпентинизированные породы, адсорбция.

Для цитирования: Худякова Л.И., Войлошников О.В. Перспективы использования серпентинизированных пород в качестве минерального порошка для асфальтобетона // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 50–53.

L.I. KHUDYAKOVA, Candidate of Sciences (Engineering), (lkhud@binm/bscnet), O.V. VOYLOSHNIKOV, Candidate of Sciences (Engineering)
Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (6, Sakhyanovoy Street, 670047, Ulan-Ude, Russian Federation)

Prospects of the Use of Serpentinous Rocks as a Mineral Powder for Asphalt Concrete

The possibility of using serpentinous rocks as a mineral powder, when producing asphalt concretes, is considered. The dependence of adsorption activity of powders on their specific surface, the duration of interaction with bitumen as well as the type of a crushable rock has been studied. Mineral powders prepared of serpentine, which is crushed to the area of the specific surface of 300 m²/kg, have the best adsorption values. The duration of the bitumen adsorption should be not less than 15 minutes. Physical-chemical properties of the powders have been studied. It is established that they have low porosity, improved water resistance; they don't swell when mixed with bitumen. The characteristics of mineral powders made of serpentinous rocks meet the GOST requirements and can be used as a raw material in road construction.

Keywords: mineral powder, asphalt concrete, bitumen, serpentinous rocks, adsorption.

For citation: Khudyakova L.I., Voyloshnikov O.V. Prospects of the use of serpentinous rocks as a mineral powder for asphalt concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 50–53. (In Russian).

Производство строительных материалов является одной из материалоемких отраслей, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, в том числе и за счет добычи потребляемых ею минеральных ресурсов.

Как известно, освоение месторождений полезных ископаемых сопровождается огромным количеством вскрышных и вмещающих пород, которые скапливаются в отвалах и представляют экологическую угрозу для окружающей природной среды. Для минимизации негативных воздействий горных производств отходы необходимо ликвидировать на стадии их образования, что является актуальной задачей, требующей повышенного внимания. Основной отраслью, использующей данный вид сырья, является производство строительных материалов.

Огромное количество серпентинизированных горных пород образуется при разработке месторождений меди, никеля, хрома, нефрита и др. Они представляют собой сырье для производства различных видов керамики [1, 2], вяжущих композиций [3], бетонов [4]. Одно из перспективных направлений использования серпентинизированных пород – получение минерального порошка для асфальтобетонных смесей.

Традиционно в данной отрасли используют порошки из карбонатных горных пород [5]. Однако в последнее время проводятся исследования по получению минеральных порошков из кремнеземсодержащих пород [6–8], отсевов их дробления [9], отходов добычи бора [10], медно-никелевого [11] и металлургического [12] производств, а также стеклобоя [13], бетонной и кирпичной пыли [14, 15], золы-уноса [16–18] и др.

Ранее проведенные исследования [19, 20] показали, что породы, имеющие в своем составе большое количество катионов кальция, магния и железа, обладают высокой сорбционной активностью, взаимодействуют с битумом с образованием прочных связей и оказывают на него структурирующее действие. Серпентинизированные горные породы содержат много оксидов магния и железа и должны хорошо сорбировать битум на своей поверхности. Целью настоящей работы явилось получение новых видов минеральных порошков из техногенного сырья для асфальтобетонных смесей.

Объектом исследований служили отходы горного производства в виде серпентинизированных пород – серпентинизированных дунитов и серпентинитов, химический состав которых (мас. %) приведен в табл. 1.

С целью перевода в мелкодисперсное состояние породы измельчали в стержневом вибрационном измельчителе. Полученные порошки изучали на предмет пригодности для использования в качестве минеральных порошков согласно ГОСТ Р 52129–2003 «Порошок минеральный для асфальтобетонных и органоминеральных смесей. Технические условия».

Для установления соответствия требованиям ГОСТа по зерновому составу был выполнен ситовой анализ исследуемых порошков, который показал возможность их использования в качестве минерального порошка для асфальтовых вяжущих. В табл. 2 приведен состав порошков из серпентинизированных пород.

Как известно, при взаимодействии с минеральным порошком происходит адсорбция битума на его поверхности. Количество адсорбированного битума оказывает влияние на качество не только вяжущего, но и асфаль-

Таблица 1

Порода	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O + Na ₂ O	ППП
Серпентинит	40	0,3	1,64	3,7	0,22	40,04	0,08	12,52
Серпентинизированный дунит	34,94	0,91	7,59	5,92	0,41	39,07	0,09	9,18

Таблица 2

Размер сит, мм	Частные остатки, %	Полные остатки, %	Полные проходы, %	Требования ГОСТ Р 52129–2003
Серпентинизированный дунит				
1,25	0	0	100	Не менее 95
0,315	6,8	6,8	93,2	80–95
0,16	5,2	12	88	–
0,071	4,8	16,8	83,2	Не менее 60
<	83,2	100	0	–
Серпентинит				
1,25	0	0	100	Не менее 95
0,315	6	6	94	80–95
0,16	5,7	11,7	88,3	–
0,071	6,2	17,9	82,1	Не менее 60
<	82,1	100	0	–

Таблица 3

Наименование показателя	Требования ГОСТ Р 52129–2003	Материал порошка	
		Серпентинизированный дунит	Серпентинит
Истинная плотность, г/см ³	–	3,11	3,34
Пористость, %	Не более 40	31,2	30,2
Набухание образцов из смеси порошка с битумом	Не более 3	0	0
Водостойкость образцов из смеси порошка с битумом	Не более 0,7	0,24	0,21
Влажность, мас. %	Не более 2,5	2,1	2,2

тобетона, т. е. адсорбционная активность минеральных порошков обуславливает физико-механические свойства дорожного покрытия. Способность проявлять сорбционные свойства зависит не только от вида породы, ее химического и минералогического составов, но и от зернового состава порошка.

В процессе измельчения материала на его поверхности образуются активные центры, способные к химическому взаимодействию с битумом. Чем выше степень измельчения, тем больше активных центров на поверхности порошка.

В связи с этим изучали влияние величины удельной поверхности минеральных порошков из серпентинитов и серпентинизированных дунитов на адсорбционную активность, которую определяли фотоколориметрическим методом по количеству адсорбированного на их поверхности битума из 0,1% раствора битума в бензоле. Для сравнения использовали традиционный минеральный порошок из карбонатной породы – известняка. Величину удельной поверхности порошков ограничивали 580 м²/кг. Продолжительность испытаний до 90 мин. Полученные результаты представлены на рис. 1.

Как видно из приведенной графической зависимости, порошки с удельной поверхностью 140 м²/кг обладают низкой адсорбционной активностью. Это связано с недостаточным измельчением пород и, как следствие, образованием небольшого количества активных центров на их поверхности, что с учетом сравнительно малой контактной зоны между частицами порошка и битумом обуславливает невысокую активность.

С увеличением удельной поверхности адсорбционная активность порошков возрастает и при 490 м²/кг

достигает своего максимума для серпентинизированного дунита и известняка. Серпентинит продолжает сорбировать битум. Следует отметить, что скачок активности порошков из серпентинита наблюдается при изменении его удельной поверхности от 140 до 300 м²/кг, в дальнейшем ее увеличение происходит незначительно.

Как сказано выше, на адсорбционную активность порошков оказывает влияние также время их взаимодействия с битумом и вид измельчаемого материала (рис. 2).

В результате проведенных исследований установлено, что порошки из серпентинизированных пород об-

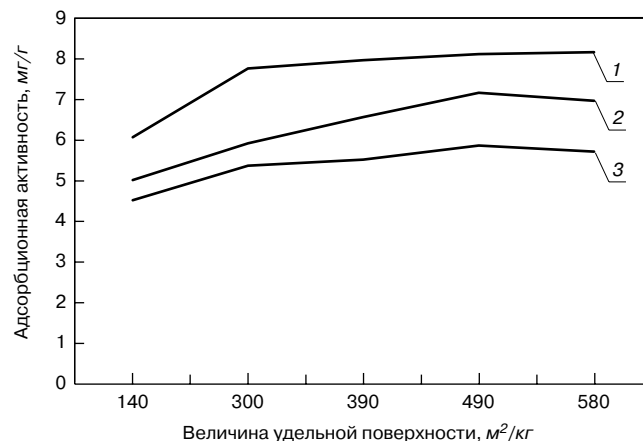


Рис. 1. График зависимости адсорбционной активности минеральных порошков от величины их удельной поверхности: 1 – серпентинит; 2 – серпентинизированный дунит; 3 – известняк

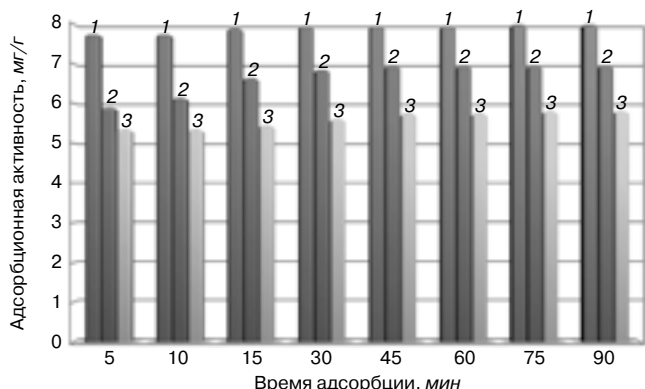


Рис. 2. График зависимости адсорбционной активности минеральных порошков от времени адсорбции: 1 – серпентинит; 2 – серпентинизированный дунит; 3 – известняк

ладают повышенной адсорбционной активностью по сравнению с традиционным порошком из известняка и по своим показателям он на 40% превышает активность известняка. Причем в течение первых 15 мин практически все его активные центры заполняются битумом. Для порошков из серпентинизированного дунита этот период времени составляет 45 мин. Адсорбция битума на поверхности традиционного минерального порошка из известняка происходит в первые 5 мин их взаимодействия. В дальнейшем адсорбции практически не наблюдается.

Список литературы

1. Гурьева В.А. Магнезиальное техногенное сырье в производстве строительных керамических материалов // *Вестник ЮУрГУ. Серия 46 «Строительство и архитектура»*. 2013. Т. 13. № 1. С. 45–48.
2. Щипцов В.В., Ильина В.П., Попова Т.В., Фролов П.В. Высокомагнезиальные промышленные минералы и горные породы Карелии в потенциальном производстве огнеупоров и керамических материалов различного назначения // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2013. № 4–5. С. 40–46.
3. Эрдман С.В., Постникова А.Н. Водостойкие смешанные магнезиальные вяжущие // *Фундаментальные исследования*. 2013. № 8–3. С. 773–778.
4. Пустовгар А.П., Лавданский П.А., Есенов А.В., Медведев В.В., Еремин А.В., Веденин А.Д. Влияние суперпластификаторов и оксида кальция на гидратацию цемента в серпентинитовом бетоне // *Научно-технический политематический электронный журнал «Вестник ВолгГАСУ»*. 2014. Вып. 2 (33). URL: <http://www.vestnik.vgasu.ru> (дата обращения 14.06.2017).
5. Бажуков Н.М., Щепетев Л.С. Физико-механические свойства кубовидного минерального порошка и особенности его применения в составе асфальтобетонной смеси // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2016. № 4. С. 15–25.
6. Алексеенко В.В., Салтанова Ю.В. Использование модифицированных минеральных порошков при производстве горячего асфальтобетона // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2016. Т. 2. № 2. URL: <http://vestnik-nauki.ru/> (дата обращения 14.06.2017).
7. Cheng Y., Tao J., Jiao Y., Guo Q., Li C. Influence of diatomite and mineral powder on thermal oxidative ageing properties of asphalt // *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2015. Article ID 947834. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/9478348> (дата обращения 14.06.2017).
8. Афиногенов О.П., Вайдуров С.С. Применение в асфальтобетонных смесях минерального порошка из

Химический характер взаимодействия порошков из серпентинизированных пород с битумом подтвержден методом инфракрасной спектроскопии, что выражается, в частности, образованием групп SiOCH_3 , SiCH_3 в структуре асфальтовых вяжущих веществ.

Были изучены физико-механические свойства минеральных порошков из серпентинизированных пород, которые представлены в табл. 3.

В проведенных исследованиях установлено, что порошки из серпентинизированного дунита и серпентинита имеют низкую пористость, обладают повышенной водостойкостью, при смешивании с битумом не набухают. Полученные порошки соответствуют требованиям ГОСТ Р 52129–2003 и могут применяться в качестве сырьевого материала при производстве асфальтобетона.

Таким образом, отходы горного производства в виде серпентинизированных пород можно использовать для получения минеральных порошков с высокой структурирующей способностью и для улучшения физико-механических показателей асфальтобетонных смесей. Вовлечение их в производство позволит заменить традиционное сырье на отходы а также снизить негативное воздействие на окружающую среду сокращением объемов отвалов.

Работа выполнена по проекту П.2П/В.46-7 «Новые виды композиционных вяжущих материалов из отходов производства и потребления для дорожного строительства» в рамках Комплексной программы фундаментальных исследований Сибирского отделения РАН № П.2П «Интеграция и развитие».

References

1. Gurieva V.A. Magnesium-containing technogenic raw materials in the production of structural ceramic materials. *Vestnik YuUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i Arkhitektura»*. 2013. Vol. 13. No. 1, pp. 45–48. (In Russian).
2. Shchiptov V.V., Il'ina V.P., Popova T.V., Frolov P.V. High-Mg industrial minerals and rocks of Karelia in potential production of multi-purpose refractory and ceramic materials. *Ogneupory i Tekhnicheskaya Keramika*. 2013. No. 4–5, pp. 40–46. (In Russian).
3. Erdman S.V., Postnikova A.N. Waterproof compound magnesia cement. *Fundamental'nye Issledovaniya*. 2013. No. 8–3, pp. 773–778. (In Russian).
4. Pustovgar A.P., Lavdanskiy P.A., Yesenov A.V., Medvedev V.V., Yeregin A.V., Vedenin A.D. Influence of superplasticizer and calcium oxide on cement hydration of in serpentine concrete. *Internet-vestnik VolgGASU. Seriya Politematicheskaya*. 2014. Vol. 2 (33). <http://www.vestnik.vgasu.ru> (date of access 14.06.2017). (In Russian).
5. Bazhukov N.M., Shchepeteva L.S. Physical and mechanical properties of the cube-shaped mineral powder and especially its use in the asphalt mixture. *Transport. Transportnye Sooruzheniya. Ekologiya*. 2016. No. 4, pp. 15–25. (In Russian).
6. Alekseenko V.V., Saltanova Yu.V. Asphalt mix modified by polymers and nanoparticle of the carbon. *Vestnik Nauki i Obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2016. Vol. 2. No. 2. <http://vestnik-nauki.ru/> (date of access 14.06.2017). (In Russian).
7. Cheng Y., Tao J., Jiao Y., Guo Q., Li C. Influence of diatomite and mineral powder on thermal oxidative ageing properties of asphalt // *Advances in Materials Science and Engineering*. Vol. 2015. Article ID 947834. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/9478348> (date of access 14.06.2017).
8. Afinogenov O.P., Vaydurov S.S. Application in the asphalt mixes of mineral powder from perlite of the Khasynscoe deposit. *Molodoy Uchenyi*. 2014. No. 2, pp. 104–107. (In Russian).

- перлита Хасынского месторождения // *Молодой ученый*. 2014. № 2. С. 104–107.
9. Борисенко Ю.Г., Борисенко О.А., Казарян С.О., Ионов М.Ч. Влияние высокодисперсных отсевов дробления керамзита на структуру и свойства ШМА // *Строительные материалы*. 2015. № 5. С. 82–85.
 10. Güreş C., Selman G.S. Investigation of properties of asphalt concrete containing boron waste as mineral filler // *Materials Science (Medziagotyra)*. 2016. Vol. 22. No. 1, pp. 118–125.
 11. Васильовская Г.В., Шевченко В.А., Киселев В.П. Применение отходов промышленности ГМК «Норильский никель» в производстве дорожного асфальтобетона // *Вестник ИрГТУ*. 2015. № 3 (98). С. 130–134.
 12. Корнеев А.Д., Гончарова М.А., Андриянцева С.А., Комаричев А.В. Оптимизация строительно-технических свойств асфальтобетонов с применением отходов металлургического производства // *Фундаментальные исследования*. 2015. № 2–8. С. 1620–1625.
 13. Al-Saffar N.A.H. The effect of filler type and content on hot asphalt concrete mixtures properties // *Al-Rafidain Engineering*. 2013. Vol. 21. No. 6, pp. 88–100.
 14. Sutradhar D., Miah M., Chowdhury G.J., Sobhan M.A. Effect of using waste material as filler in bituminous mix design // *American Journal of Civil Engineering*. 2015. No. 3 (3), pp. 88–94.
 15. Bhat M.A., Mittal O.P. Effect of Fillers on bituminous mixes // *International Journal of Advanced Research in Education & Technology*. 2016. Vol. 3. Iss. 2, pp. 178–182.
 16. Kar D., Panda M., Giri J.P. Influence of fly-ash as a filler in bituminous mixes // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2014. Vol. 9. No. 6, pp. 895–900.
 17. Маданбеков Н.Ж., Осмонова Б.Ж. Повышение эффективности использования дорожного асфальтобетона путем применения золы-уноса в качестве минерального порошка // *Инновационная наука*. 2015. № 12. С. 121–124.
 18. Маркова И.Ю., Строкова В.В., Дмитриева Т.В. Влияние зол-уноса на вязкоупругие характеристики дорожного битума // *Строительные материалы*. 2015. № 11. С. 28–32.
 19. Худякова Л.И., Войлошников О.В., Котова И.Ю. Минеральный порошок из природного сырья Республики Бурятия // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 34–35.
 20. Дедюхин А.Ю., Кручинин И.Н., Мелькумов В.Н. Применение техногенных отходов переработки хризотила в дорожном строительстве // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура*. 2009. № 4. С. 141–147.
 9. Borisenko Yu.G., Borisenko O.A., Kazaryan S.O., Ionov M.Ch. Influence of fine-disperse screenings of expanded clay crushing on structure and properties of stone mastic asphalt concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 5, pp. 82–85. (In Russian).
 10. Güreş C., Selman G.S. Investigation of properties of asphalt concrete containing boron waste as mineral filler. *Materials Science (Medziagotyra)*. 2016. Vol. 22. No. 1, pp. 118–125.
 11. Vasilovskaya G.V., Shevchenko V.A., Kiselev V.P. Application of “Norilskiy Nickel” mining-metallurgical combine industrial waste in road asphalt concrete production. *Vestnik IrGTU*. 2015. No. 3 (98), pp. 130–134. (In Russian).
 12. Korneev A.D., Goncharova M.A., Andriyantseva S.A., Komarichev A.V. Optimization of the composition and properties of asphalt concrete from waste dust production. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2015. No. 2–8, pp. 1620–1625. (In Russian).
 13. Al-Saffar N.A.H. The effect of filler type and content on hot asphalt concrete mixtures properties. *Al-Rafidain Engineering*. 2013. Vol. 21. No. 6, pp. 88–100.
 14. Sutradhar D., Miah M., Chowdhury G.J., Sobhan M.A. Effect of using waste material as filler in bituminous mix design. *American Journal of Civil Engineering*. 2015. No. 3 (3), pp. 88–94.
 15. Bhat M.A., Mittal O.P. Effect of Fillers on bituminous mixes. *International Journal of Advanced Research in Education & Technology*. 2016. Vol. 3. Iss. 2, pp. 178–182.
 16. Kar D., Panda M., Giri J.P. Influence of fly ash as a filler in bituminous mixes. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2014. Vol. 9. No. 6, pp. 895–900.
 17. Madanbekov N.Zh., Osmonova B.Zh. Increase of efficiency of road asphalt concrete by using fly ash as a mineral powder. *Innovatsionnaya Nauka*. 2015. No. 12, pp. 121–124. (In Russian).
 18. Markova I.Yu., Strokovaya V.V., Dmitriyeva T.V. Influence of fly ashes on the viscoelastic characteristics of the bitumen. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 11, pp. 28–32. (In Russian).
 19. Khudyakova L.I., Voyloshnikov O.V., Kotova I.Yu. Mineral powder from natural raw materials of the Republic of Buryatia. *Stroitel'nye Materialy*. 2013. No. 5, pp. 34–35. (In Russian).
 20. Dedyukhin A.Yu., Kruchinin I.N., Mel'kumov V.N. Application of chrysolite processing wastes in road construction. *Nauchnyi Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-stroitel'nogo Universiteta. Stroitel'stvo i Arkhitektura*. 2009. No. 4, pp. 141–147. (In Russian).

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА



<http://rifsm.ru/page/5/>

В.А. ГУРЬЕВА¹, д-р техн. наук (victoria-gurieva@rambler.ru);
А.И. КУДЯКОВ², д-р техн. наук; Т.К. БЕЛОВА¹, инженер (belova_tatyana_90@mail.ru)

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

² Томский государственный архитектурно-строительный университет (634003, г. Томск, Соляная пл., 2)

Совершенствование технологии приготовления цементного раствора с модифицированными базальтовыми микроволокнами

Исследованы технологические приемы приготовления цементного раствора с модифицированными базальтовыми микроволокнами (МБМ). Установлены оптимальные последовательность введения компонентов и способ перемешивания растворной смеси, обеспечивающие равномерное распределение МБМ в растворе и повышение однородности параметров качества бетона. Предложен метод предварительного разделения базальтовых микроволокон в жидкой среде, обеспечивающий прирост прочности раствора при изгибе на 64,1%. При приготовлении растворной смеси с модифицированными базальтовыми микроволокнами в смесителе роторного высокоскоростного типа поочередным способом загрузки исходных компонентов повышаются прочностные характеристики и однородность раствора. Разработанные составы и технологические приемы приготовления цементно-песчаного раствора с модифицированными базальтовыми микроволокнами использованы при разработке технологического регламента и рекомендованы для устройства монолитных полов промышленных зданий.

Ключевые слова: цементный раствор, модифицированные базальтовые микроволокна, технологические приемы, однородность, монолитные промышленные полы.

Для цитирования: Гурьева В.А., Кудяков А.И., Белова Т.К. Совершенствование технологии приготовления цементного раствора с модифицированными базальтовыми микроволокнами // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 54–57.

V.A. GURIEVA¹, Doctor of Sciences (Engineering) (victoria-gurieva@rambler.ru),
A.I. KUDIAKOV², Doctor of Sciences (Engineering), T.K. BELOVA¹, Engineer (belova_tatyana_90@mail.ru)

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

² Tomsk State University of Architecture and Building (2, Solyanaya Square, 634003, Tomsk, Russian Federation)

Improvement in Technology of Preparation of a Cement Mortar with Modified Basalt Micro-Fibers

Technological methods for preparation of the cement solution with modified basalt micro-fibers (MBM) have been studied. Optimal sequences of introducing components and the method for mixing the mortar mix, which provide the uniform distribution of MBM in the solution and improvement of the homogeneity of parameters of concrete quality, have been established. The method for preliminary separation of basalt micro-fibers in the liquid medium, which provides the increase in the bending strength by 64.1%, is proposed. When preparing the mortar mix with modified micro-fibers in the mixer of a rotor high-speed type, using the alternate method of loading of initial components, strength characteristics and homogeneity of the mortar are improved. Developed compositions and technological methods for preparing the cement-sand mortar with modified basalt micro-fibers are used when developing the technological regulation and recommended for construction of monolithic floors of industrial buildings.

Keywords: cement mortar, modified basalt micro-fibers, technological methods, homogeneity, monolithic industrial floors.

For citation: Gurieva V.A., Kudiyakov A.I., Belova T.K. Improvement in technology of preparation of a cement mortar with modified basalt micro-fibers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 54–57. (In Russian).

При строительстве многофункциональных промышленных зданий и сооружений большое внимание уделяется применению инновационных строительных материалов и технологий [1]. В частности, при проектировании и устройстве монолитных растворных цементных полов в производственных помещениях со значительной интенсивностью механических воздействий рекомендуется применять микроармирующие минеральные или органические добавки [2–5].

Новым эффективным микроармирующим материалом для упрочнения цементного камня, бетонов и растворов являются модифицированные базальтовые микроволокна (МБМ) длиной 100–500 мкм, диаметром 8–10 мкм с углеродными наночастицами на их поверхности [6, 7]. При введении модифицированных базальтовых микроволокон в растворную смесь уменьшается ее расслаиваемость, формируется плотная структура цементного камня на микро- и наноуровнях, в результате чего существенно уменьшаются усадочные деформации, повышаются прочность при изгибе, трещино- и износостойкость цементного раствора [7, 8].

Однако при приготовлении растворной смеси в смесителях возникают технологические трудности с разде-

лением модифицированных базальтовых микроволокон в цементном тесте и обеспечением равномерного их распределения в объеме изготавливаемой растворной смеси [9, 10].

Цель исследования – разработка технологических приемов приготовления растворной смеси с МБМ, обеспечивающих повышение однородности структуры и эксплуатационных показателей цементного раствора для устройства монолитных полов.

При проведении исследований применялись следующие сырьевые материалы: портландцемент ПЦ 500 Д0 Южно-Уральской горно-перерабатывающей компании, г. Новотроицк (ГОСТ 10178–85); песок для строительных работ Архиповского месторождения Оренбургской области с модулем крупности $M_k=2,81$ (ГОСТ 8735–88); суперпластификатор «Штайнберг GROS-63МС» (ТУ 5745-008-69867132–2011); модифицированные базальтовые микроволокна диаметром 8–10 мкм, средней длиной 100–500 мкм (ТУ 5761-014-13800624–2004), изготовленные ООО «НТЦ Прикладных нанотехнологий». На поверхность базальтовых волокон методом распыления суспензии нанесены полиэдральные многослойные наночастицы фуллероидного типа с межсло-

евым расстоянием 0,34–0,36 нм и средним размером частиц 60–200 нм.

При проведении экспериментальных исследований принят состав растворной смеси 1:3 (Ц:П) при В/Ц=0,42, обеспечивающий получение смеси с маркой по подвижности Пк4, необходимой для принятой трубопроводной технологии устройства полов промышленных зданий. В растворную смесь вводились МБМ в количестве 1% от массы цемента [8].

Испытание и оценка качества смеси, а также раствора проводились по ГОСТ 5802–86 и ГОСТ 28013–88. Прочность раствора при сжатии определялась на образцах-кубах размером 70,7×70,7×70,7 мм, а предел прочности раствора при изгибе – на образцах-балочках размером 40×40×160 мм. Образцы твердели в стандартных условиях. Минимальное количество образцов для каждого испытания принималось равным шести.

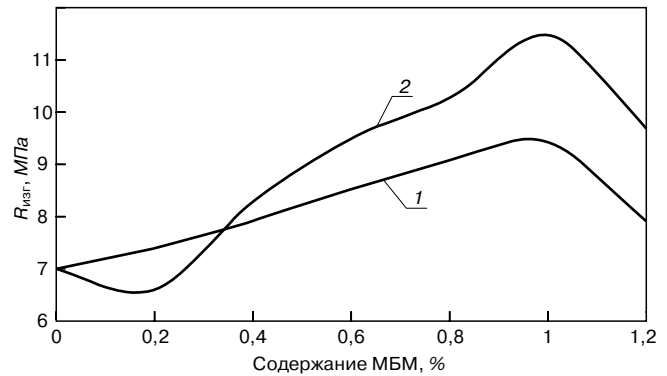
На первом этапе исследовались различные селективные технологические схемы приготовления цементно-песчаной растворной смеси с МБМ, отличающиеся последовательностью загрузки компонентов смеси и способом их перемешивания. Исследовались четыре технологических приема введения МБМ и способа приготовления растворной смеси (табл. 1):

схема 1 – введение МБМ в предварительно приготовленную растворную смесь;

схема 2 – введение МБМ в предварительно приготовленную суспензию из цемента, пластифицирующей добавки и воды с последующим введением песка;

схема 3 – введение МБМ в сухую смесь цемента и песка, перемешивание до получения однородной массы сухих компонентов и последующее затворение их водой;

схема 4 – предварительное разделение базальтовых микроволокон в водном растворе с суперпластификатором «Штайнберг GROS-63МС» с последующим введением полученной дисперсии в отдельно приготовленную частично затворенную водой растворную смесь [9].



Зависимость прочности при изгибе цементно-песчаного раствора от дозировки МБМ смеси и способа разделения волокон: 1 – разделение волокон ультразвуком; 2 – механическое разделение

Растворные образцы испытывались в возрасте 28 сут твердения на сжатие и изгиб. По полученным значениям прочностных характеристик были вычислены коэффициенты вариации прочности. Результаты проведенных экспериментальных исследований представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, максимальные значения прочностных характеристик при сжатии и изгибе (39,7 и 11,5 МПа соответственно) получены при предварительном разделении МБМ с частичным объемом воды затворения и суперпластификатором. Коэффициент вариации прочности при сжатии снизился с 12,3 до 6,5%, а прочности при изгибе – с 10,7 до 5,8%, что свидетельствует о повышении однородности параметров качества раствора и более равномерном распределении модифицированных микроволокон в растворной смеси в сравнении с технологией традиционного смешивания компонентов. При введении модифицированных микроволокон в готовую растворную смесь наблюдалось

Таблица 1

№ этапа приготовления	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
1	Ц+П+В+Д	Ц+В+Д	Ц+П	Ц+П+В*
2	МБМ	МБМ	МБМ	МБМ+В+Д**
3	–	П	В+Д	1+2

Примечание. Ц – цемент; П – песок; В – вода; Д – суперпластификатор; МБМ – модифицированное базальтовое микроволокно; * – смесь, затворенная с 70% водой затворения; ** – предварительное разделение МБМ в водном растворе с суперпластификатором.

Таблица 2

№ схемы приготовления	Предел прочности при изгибе $R_{изг}$, МПа	Коэффициент вариации $V_{изг}$, %	Предел прочности при сжатии $R_{сж}$, МПа	Коэффициент вариации $V_{сж}$, %
1	6,9	10,7	37,7	12,3
2	7,3	9,3	37,8	11,2
3	8,8	7,6	39,1	7,9
4	11,5	5,8	39,7	6,5

Таблица 3

Тип смесителя	Способ загрузки компонентов	Прочность при изгибе, МПа		Коэффициент вариации прочности v , %	
		Контрольный	С 1% МБМ	Контрольный	С 1% МБМ
Принудительный	Поочередный	7,6	10,2	7,3	6,5
	Одновременный	7	9,1	10,1	9,8
Роторный	Поочередный	7,8	11,5	6,3	5,6
	Одновременный	7,2	10,7	7,4	6,2

неравномерное распределение их по объему растворной смеси, о чем свидетельствует снижение прочностных характеристик и повышение коэффициентов вариации прочности.

На втором этапе исследований для еще большего повышения эффективности разделения МБМ и равномерного их распределения в растворной смеси применялись специальные технологии: разделение волокон ультразвуком и разделение механическим способом путем создания высоких градиентов скоростей компонентов в суспензии воды с волокнами.

Разделение микроволокон ультразвуком проводилось с помощью ультразвукового диспергатора УЗД2-0,1/22. Разделение волокон механическим способом выполнялось с использованием высокоскоростного роторного дезинтегратора погружного типа ИКА Т 65 D ULTRA-TURRAX.

Указанными способами предварительно проводилось разделение МБМ в воде затворения с суперпластификатором, после чего полученная суспензия в требуемом количестве вводилась в частично затворенную водой растворную смесь. Во всех составах растворов цементно-песчаное и водоцементное отношение принято постоянным. При проведении исследований содержание МБМ в растворной смеси увеличивалось с шагом 0,2% от массы цемента.

Результаты испытаний образцов цементно-песчаного раствора с МБМ, приготовленного с применением различных методов разделения волокон, представлены на рисунке. Установлено, что механическое разделение модифицированных базальтовых микроволокон под воздействием высоких скоростей является наиболее эффективным. Прочность раствора при изгибе с содержанием волокон 1% от массы цемента увеличилась на 64,1% по сравнению с прочностью образцов контрольного состава.

Приготовление растворной смеси в технологическом процессе устройства монолитного пола целесообразно производить в циклическом смесителе. Поэтому на третьем этапе исследований рассматривались технологические режимы приготовления растворной смеси в смесителях принудительного и роторного

высокоскоростного типа, в которых приготовление растворных смесей различного состава осуществлялось по следующим схемам загрузки исходных компонентов: поочередной (цемент – песок – 70% воды затворения – МБМ с оставшейся частью воды затворения и суперпластификатором) и одновременной.

Результаты исследований по влиянию способа загрузки компонентов и состава раствора на прочность при изгибе и коэффициент вариации прочности представлены в табл. 3. В качестве контрольного состава принят состав с Ц:П=1:3 и В/Ц = 0,4 с 1% суперпластификатора «Штайнберг GROS-63МС» без содержания МБМ.

Как видно из табл. 3, при приготовлении растворной смеси в высокоскоростном роторном смесителе поочередным способом загрузки компонентов повышается ее однородность, а цементно-песчаный раствор характеризуется высоким пределом прочности при изгибе (11,5 МПа) и низким коэффициентом вариации прочности (5,6%). Следовательно, способ загрузки и перемешивания компонентов в смесителе оказывает влияние на равномерность распределения модифицированных базальтовых микроволокон в растворной смеси.

По результатам анализа проведенных экспериментальных исследований установлены оптимальные технологические приемы и режимы приготовления цементно-песчаного раствора с МБМ: поочередная загрузка компонентов: цемент, песок, 70% воды затворения, введение МБМ в виде суспензии с пластификатором и оставшейся частью воды затворения. МБМ предварительно разделяется в жидкой среде под воздействием высоких скоростей. Предварительное разделение МБМ в водном растворе «Штайнберг GROS-63МС» с дальнейшим введением в растворную смесь позволяет увеличить прочность при сжатии до 31,4%, при изгибе до 64,3% и снизить коэффициент вариации прочности до 5,6%. Результаты исследований использованы при разработке технологического регламента приготовления цементно-песчаного раствора с МБМ с улучшенными эксплуатационными характеристиками и рекомендованы для устройства монолитных полов промышленных зданий.

Список литературы

1. Angarskiy E.V., Piotrovich A.A. Prefabricated modular structures of industrial buildings made of folding sections as up-to-date construction method. *Новые идеи нового века – 2017: материалы Семнадцатой Международной научной конференции*. Хабаровск. 2017. Т. 3. С. 182–187.
2. Клюев С.В., Лесовик Р.В., Клюев А.В., Гинзбург А.В., Казлитин С.А. Фибробетон для тяжелонагруженных полов промышленных зданий. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2013. 116 с.
3. Горб А.М., Войлоков И.А. Вопросы обеспечения долговечности и эксплуатационной надежности полов производственных зданий // *Склад и техника*. 2010. № 4. С. 38–43.
4. Баронов А.Е., Затева Ю.С., Абрамов М.А. Совершенствование технологии устройства покрытий полов с упрочненным верхним слоем // *68-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: Сборник материалов конференции*. Ярославль, 2015. С. 754–757.
5. Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Кардумян Г.С. Новые модифицированные бетоны. М.: ООО «Типография Парадиз», 2010. 258 с.
6. Патент РФ 2355656. *Бетонная смесь* / Пономарев А.Н., Юдович М.Е. Заявл. 10.05.2007. Опубл. 20.05.2009. Бюл. № 14.

References

1. Angarskiy E.V., Piotrovich A.A. Prefabricated modular structures of industrial buildings made of folding sections as up-to-date construction method. *New ideas of the new century – 2017: materials of the Seventeenth International Scientific Conference*. Khabarovsk. 2017. Book 3, pp. 182–187.
2. Klyuev S.V., Lesovik R.V., Klyuev A.V., Ginzburg A.V., Kazlitin S.A. Fibroconcrete for heavy-duty floors of industrial buildings]. Belgorod: BGTU im. V.G. Shuhova. 2013. 116 p.
3. Gorb A.M., Voilokov I.A. Questions of ensuring durability and operational reliability of floors of production buildings. *Склад и техника*. 2010. No. 4, pp. 38–43. (In Russian).
4. Baronov A.E., Zateeva Ju.S., Abramov M.A. Improvement of technology of the device of coverings of floors with the strengthened top layer. *Sixty-eighth All-Russian Scientific and Technical Conference of students, undergraduates and graduate students of higher educational institutions with international participation: Proceedings of the conference*. Yaroslavl. 2015, pp. 754–757. (In Russian).
5. Kaprielov S.S., Sheinfel'd A.V., Kardumyan G.S. Novye modifitsirovannye betony [The new modified concrete]. Moscow: ООО «Tipografiya Paradiz». 2010. 258 p.
6. Patent RF 2355656. *Betonnaya smes' [Concrete mix]*. Ponomarev A.N., Yudovich M.E. Declared 10.05.2007. Published 20.05.2009. Bulletin No. 14. (In Russian).

7. Gurieva V.A., Belova T.C. Structural features of the cement-sand mortar reinforced modified basalt microfiber. *Procedia Engineering. Materials of 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016)*. 2016. Vol. 150, pp. 2163–2167.
8. Гурьева В.А., Кудряков А.И., Белова Т.К. Цементно-песчаный раствор с модифицированными микроволокнами для полов промышленных зданий // *Вестник ТГАСУ*. 2017. № 3. С. 118–126.
9. Кудряков А.И., Плевков В.С., Кудряков К.Л., Невский А.В., Ушакова А.С. Совершенствование технологии изготовления базальтофибробетона с повышенной однородностью // *Строительные материалы*. 2015. № 10. С. 44–48.
10. Elshekh A.E., Shafiq N., Nuruddin M.F., Fathi A. Evaluation the effectiveness of chopped basalt fiber on the properties of high strength concrete // *Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 14. No. 10, pp. 1073–1077. Doi: 10.3923/jas.2014.1073.1077.
7. Gurieva V.A., Belova T.K. Structural features of the cement-sand mortar reinforced modified basalt microfiber. *Procedia Engineering. Materials of 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016)*. 2016. Vol. 150, pp. 2163–2167.
8. Gur'eva V.A., Kudyakov A.I., Belova T.K. Cement and sand solution with the modified microfibers for floors of industrial buildings. *Vestnik of TSUAB*. 2017. No. 3, pp. 118–126. (In Russian).
9. Kudyakov A.I., Plevkov V.S., Kudyakov K.L., Nevskiy A.V., Ushakova A.S. Improvement in manufacturing technology of basalt fiber concrete with increased uniformity. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 10. pp. 44–48. (In Russian).
10. Elshekh A.E., Shafiq N., Nuruddin M.F., Fathi A. Evaluation the effectiveness of chopped basalt fiber on the properties of high strength concrete. *Journal of Applied Sciences*. 2014. Vol. 14. No. 10, pp. 1073–1077. Doi: 10.3923/jas.2014.1073.1077.

II Международный симпозиум по долговечности и устойчивому развитию конструкционного бетона DSCS 2018



Москва, 6-7 июня 2018 г.

Организаторы:

Итальянское отделение американского института бетона (ACI IC) и Российская инженерная академия (РИА)
При участии Российской академии наук (РАН) и Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН)

Спонсоры конференции:

Американский институт бетона (ACI) и его комитеты: C130 (Sustainability of Concrete), C201 (Durability of Concrete), C544 (Fiber Reinforced Concrete), C549 (Thin Reinforced Cementitious Products and Ferrocement);
Международная федерация по конструкционному бетону (fib); Международный союз экспертов и лабораторий в области испытаний строительных материалов, систем и конструкций (RILEM)



Тематика симпозиума

- Сокращение парниковых газов в цементной и бетонной промышленности
- Рециклирование и организация удаления отходов в производстве бетонов и растворов
- Сульфоалюминатные цементы как альтернатива портландцементу и смешанным цементам
- Щелочеактивированные материалы и геополимеры для устойчивого строительства
- Долговечность железобетонных конструкций
- Оценка жизненного цикла в строительстве из бетона
- Повторное использование и восстановление функциональности железобетонных конструкций
- Ремонт и эксплуатация
- Контроль, инспектирование и мониторинг
- Примеры из практики

Место проведения конференции: Российская академия наук, Москва, Россия

<http://www.aciitaly.com/events/dscs2018>

Секретариат симпозиума: ACI Italy Chapter Secretary (aciitalychapter@gmail.com)

Российский секретариат: Леонид Иванов, региональная группа РИЛЕМ (l.a.ivanov@mail.ru);
Сергей Бронин, Национальная группа ФИБ (bronin@list.ru).

Г.И. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук (gyakov@istu.ru), А.А. ВДОВИН, магистр,
А.Ф. ГОРДИНА, канд. техн. наук, А.Н. ЗОРИН, архитектор, С.А. ПОТОРОЧИНА, бакалавр
Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

Влияние комплексной добавки на основе отходов асбестоцементных изделий и автопокрышек на свойства мелкозернистых бетонов

Изучено влияние измельченных отходов асбестоцементных изделий и резиновых автопокрышек на свойства и структуру цементной композиции. Введение техногенных добавок позволяет улучшить физико-механические характеристики мелкозернистого бетона вследствие синергетического влияния от совместного воздействия добавок. Резиновая крошка была предварительно подвергнута механоактивации совместно с портландцементом. Отходы асбестоцементных изделий вводились в мелкозернистый бетон после измельчения на дисковом истирателе до фракции 100 мкм. Результаты физико-химических исследований структуры модифицированного мелкозернистого бетона, проведенные с помощью ИК-спектрального и дифференциально-термических анализа, показали изменение состава новообразований в цементной матрице вследствие формирования гидросиликатов кальция разной основности. Модифицированный мелкозернистый бетон может быть использован для производства мелкоштучных изделий повышенной износостойкости и морозостойкости, используемых при устройстве покрытий в спортивных сооружениях.

Ключевые слова: резиновая крошка, асбестоцементные отходы, мелкозернистый бетон, модифицирующие добавки.

Для цитирования: Яковлев Г.И., Вдовин А.А., Гордина А.Ф., Зорин А.Н., Поторочина С.А. Влияние комплексной добавки на основе отходов асбестоцементных изделий и автопокрышек на свойства мелкозернистых бетонов // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 58–61.

G.I. YAKOVLEV, Doctor of Sciences (Engineering) (gyakov@istu.ru), A.A. VDOVIN, Master,
A.F. GORDINA, Candidate of Sciences (Engineering), A.N. ZORIN, Architect, S.A. POTORochina, Bachelor
Kalashnikov Izhevsk State Technical University (7, Studencheskaya Street, Izhevsk, 426069, Russian Federation)

Influence of a Complex Additive on the Basis of Asbestos-Cement Waste and Automobile Tires on Properties of Fine Concretes

The influence of milled wastes of asbestos-cement products and rubber automobile tires on the properties and structure of a cement composition has been studied. The introduction of anthropogenic additives makes it possible to improve physical-mechanical characteristics of the fine concrete as a result of the synergetic impact of joint effect of additives. Rubber crumb was preliminary subjected to mechanical activation together with Portland cement. Waste of asbestos cement products were introduced in the fine concrete after grinding in the disk grinder up to the fraction of 100 μm . Results of the physical-mechanical study of the structure of modified fine concrete conducted with the help of IR-spectral and differential-thermal analyses showed the change in the compositions of new formations in the cement matrix as a result of formation of calcium hydro-silicates of different basicity. Modified fine concrete can be used for production of small piece materials of improved wear resistance and frost resistance used when arranging coverings in sport facilities.

Keywords: rubber crumb, asbestos-cement waste, fine concrete, modifying additives.

For citation: Yakovlev G.I., Vdovin A.A., Gordina A.F., Zorin A.N., Potorochina S.A. Influence of a complex additive on the basis of asbestos-cement waste and automobile tires on properties of fine concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 58–61. (In Russian).

Одной из огромных экологических проблем современности является утилизация техногенных материалов. По данным Минприроды Российской Федерации, только за 2014 г. образовалось почти 71 млн т отходов, из которых только 7,5% было вовлечено в хозяйственный оборот, остальные объемы направлены на захоронение. Объем переработки отходов за последние время снизился с 13,6 до 7,5% начиная с 2010 г. В то же время в Советском Союзе в 80-е гг. XX в. уровень переработки достигал до 60% бумаги, до 50% текстиля, свыше 30% автомобильных шин. В наше время эти показатели опустились до критических отметок: для бумаги и резины они составляют соответственно 36 и 10%.

Для основных климатических широт России со значительными диапазонами знакопеременной температуры одной из основных задач, требующих решения при разработке составов бетонов, является повышение прочности и морозостойкости изделий из него. Одновременно в настоящее время основной проблемой является утилизация техногенных материалов. Использование отходов резинотехнических изделий и асбестоцементных строительных материалов в качестве модифицирующих добавок при производстве мелкозернистых бетонов значительно расширяет сырьевую базу,

позволяет улучшить физико-механические свойства бетонов и существенно снижает антропогенную нагрузку на экосистему.

Существует несколько методов утилизации шин. По механизму воздействия их можно разделить на *физические* (технология механической переработки, технология низкотемпературного разрушения, бародеструкционная технология и современная технология «озонового продувания») и *химические* (пиролиз, восстановление шин, крекинг) [1–4, <http://www.utilrti.ru/ru/poleznaya-informatsiya/4-utilizatsiya-shin-i-ekologiya.html>].

Распространенным продуктом утилизации автопокрышек является переработанная резина в виде резиновой крошки [5]. Резиновую крошку широко используют как покрытие спортивных и детских площадок, наполнитель в асфальтобетонах, при производстве различных рулонных материалов и битумных мастик. Менее известный, но набирающий развитие способ использования резиновой крошки – это применение в качестве наполнителя в цементных бетонах. В то же время введение резиновой крошки позволяет повысить морозостойкость, но при этом снижает механические показатели [6]. Эта задача может быть решена введением дисперсно-армирующих добавок, в качестве которых

возможно использование переработанных отходов асбестоцементных изделий.

Последнее время к асбестоцементным изделиям привилось негативное отношение вследствие прежде всего конкурентной борьбы между производителями кровельных материалов [7]. Однако доказано, что изделия на основе хризотил-асбеста не несут нагрузку на окружающую среду [8]. В то же время при капитальном ремонте скатных кровель, выполненных с использованием волнистых асбестоцементных листов, скапливается значительное количество неостребованных отходов. Известно, что в состав асбестоцементных изделий наряду с хризотил-асбестом входят гидросиликаты кальция, являющиеся составной частью цементной матрицы и связывающие волокна асбеста в плотный и прочный композиционный материал. При измельчении отходов асбестоцементных изделий до фракции, близкой к размерам частиц цемента, возможно повторное использование отходов, которые одновременно могут служить как дисперсно-армирующий наполнитель и как активный компонент в составе твердеющего мелкозернистого бетона. При этом такая добавка позволит нивелировать недостатки мелкозернистого бетона, производимого с использованием резиновой крошки.

Анализ существующей литературы показал, что мелкозернистый бетон с использованием резиновой крошки хорошо воспринимает ударные нагрузки и способен выдерживать больше циклов замораживания-оттаивания по сравнению с обычным цементным бетоном, лучше воспринимает ударные нагрузки и способен к большей деформации без разрушения [9]. Также было установлено, что резиновая крошка, обладая шероховатой поверхностью, создает прочные связи с цементным камнем. Однако при этих достоинствах бетон существенно снижает механические характеристики, в частности прочность при сжатии и изгибе, так как в связи с неполярностью структуры и гидрофобностью резиновые частицы плохо смачиваются и захватывают на своей поверхности значительное количество воздуха при приготовлении бетонной смеси. Этот эффект приводит к уменьшению плотности бетона (включения воздуха на поверхности резины увеличивают пористость), а также уменьшает площадь сцепления резиновой крошки с цементной матрицей, что в конечном итоге отрицательно сказывается на прочностных характеристиках затвердевшего цементного бетона.

Для устранения негативного эффекта Мохаммади и др. [10] частично заменили природный песок в бетонах на измельченную резину, предварительно замоченную в воде. Модифицированный бетон с замоченной в воде крошкой показал более высокую прочность (до 7%), чем соответствующий ему образец с необработанным заполнителем. Существует другой способ улучшения связей между резиновой крошкой и цементной матрицей, связанный с обработкой частиц резины водным раствором NaOH [11]. Данный способ усложняет технологию, влияет на химию твердения вяжущего и не дает существенных результатов.

Исходя из приведенного анализа существующих методов введения резиновой крошки в состав цементных бетонов был предложен метод механической активации резины. Суть метода заключается в совместном истирании цемента с резиновой крошкой в дисковом истирателе ИД-250 с зазором между дисками 0,1 мм. При этом частицы портландцемента внедряются в резиновую

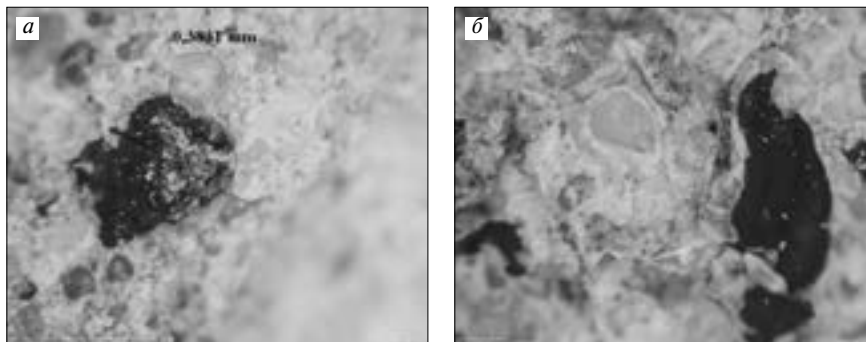


Рис. 1. Макроструктура мелкозернистого бетона (увеличение $\times 200$): а – контрольный образец; б – структура образца с механоактивированной резиновой крошкой

крошку, что сокращает вовлечение воздуха в структуру бетона и позволяет создать более плотную структуру и увеличить сцепление резиновых частиц с цементной матрицей (рис. 1, б).

На снимках макроструктуры отмечено, что резиновая крошка без механической активации (рис. 1, а) вовлекает включения воздуха, вследствие чего увеличивается пористость мелкозернистого бетона.

Из рис. 1, б видно, что механоактивированная резиновая крошка имеет лучшее сцепление с цементной

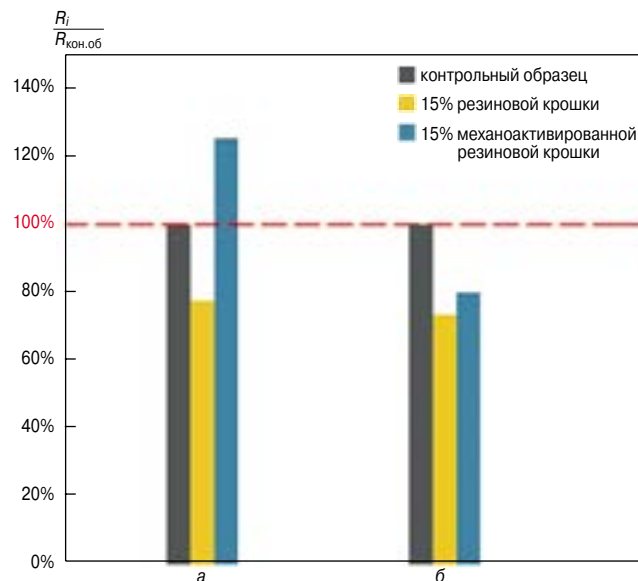


Рис. 2. Прочность образцов при изгибе (а) и сжатии (б) в возрасте 28 сут

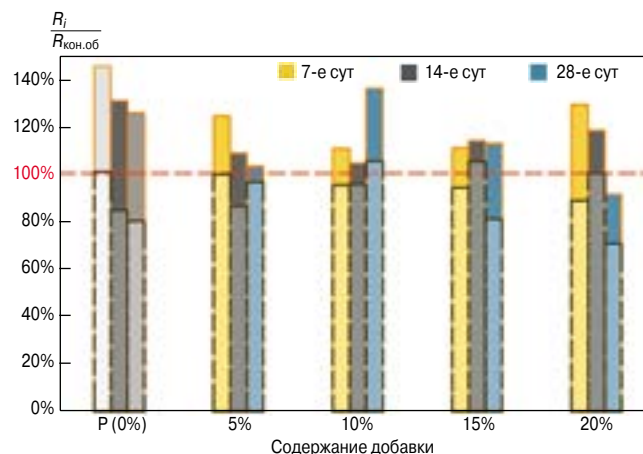


Рис. 3. Прочности образцов при сжатии (---) и изгибе (—) в зависимости от времени твердения

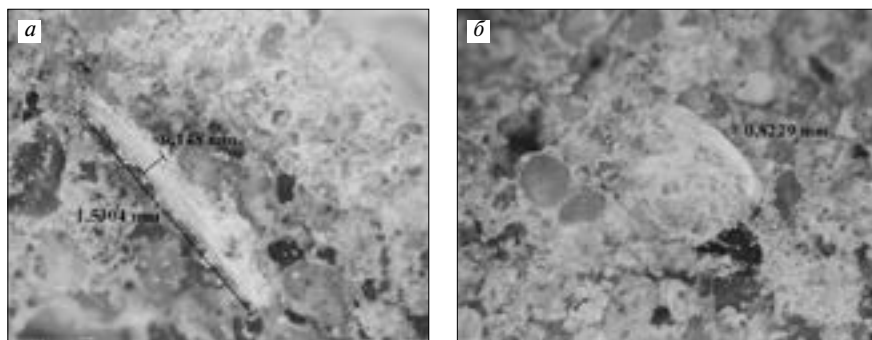


Рис. 4. Макроструктура образца мелкозернистого цементного бетона с добавлением 10% асбестоцементного заполнителя (а); резиновой крошки и асбестоцементного заполнителя (б). Увеличение $\times 200$

матрицей и позволяет увеличить плотность структуры мелкозернистого бетона. При этом оптимальное содержание резиновой крошки в мелкозернистом бетоне составило 15% относительно мелкого заполнителя, что хорошо коррелирует с результатами работ [12, 13].

На графиках рис. 2, а видно, что при добавлении модифицированной резиновой крошки значительно возрастает механическая прочность при изгибе по сравнению с использованием обыкновенной резины, в то же время прочность при сжатии (рис. 2, б) значительно снижается по отношению к контрольному образцу.

Для улучшения прочностных показателей с механоактивированной резиновой крошкой в состав мелкозер-

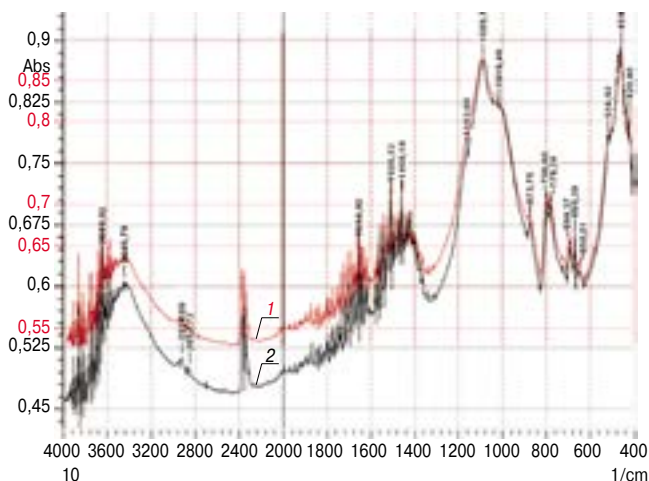


Рис. 5. ИК-спектры: 1 – контрольного образца, 2 – с добавлением 10% асбестоцементного порошка

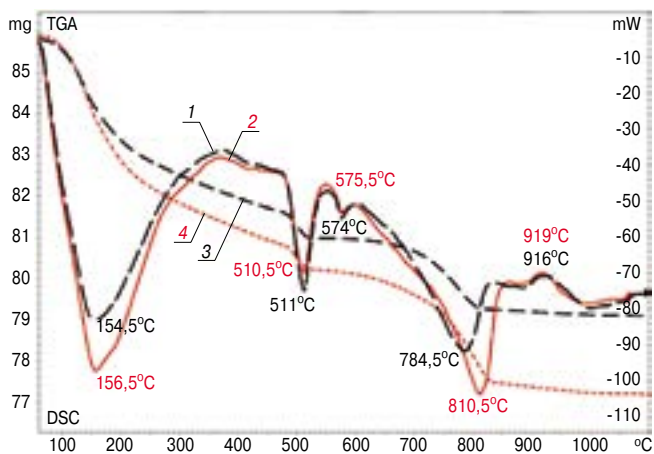


Рис. 6. Результаты ДСК: (1, 3) контрольного образца; (2, 4) модифицированного 10% молотого асбестоцементного порошка

нистого бетона вводился асбестоцементный порошок фракцией до 100 мкм в количестве 5, 10, 15, 20% от объема мелкого заполнителя. Для определения физико-механических свойств изготавливались образцы-балочки с размерами 40×40×160 мм. Механоактивированная резиновая крошка вводилась в количестве 15%. Водоцементное отношение соответствовало значению 0,6.

На основании проведенных испытаний были получены следующие показатели прочности на 7, 14 и 28 сут (рис. 3). На графиках за 100% принята граница, соответствующая показате-

лям прочности контрольного образца. Показатели с маркировкой Р (0%) соответствуют смеси с замещением 15% резиновой крошкой, а показатели с маркировкой 5; 10; 15; 20% – смеси с резиновой крошкой в сочетании с добавкой асбестоцементного порошка. Анализ приведенных показателей позволил заключить, что у смеси с механоактивированной резиновой крошкой при введении 10–15% тонкомолотого асбестоцементного порошка повышается прочность при сжатии на 5,2% и снижается на 19,1% соответственно, одновременно прочность на изгиб увеличивается на 35,8 и 12,6% (на 28-е сут). Исходя из полученных показателей прочности при изгибе при добавлении резиновой крошки в количестве 15% по объему и 10% асбестоцементного порошка достигаются оптимальные механические показатели модифицированного мелкозернистого бетона. Увеличение прочности образцов связано с тем, что асбестовое волокно имеет хорошее сцепление с цементной матрицей (рис. 4, а).

Кроме того, цементная матрица, присутствующая в составе асбестоцементного порошка, служит центрами кристаллизации, способствующими упрочнению структуры композиционного материала.

На рис. 4, б представлены опытные образцы с введением дисперсного заполнителя в виде тонкомолотого асбестоцемента и резиновой крошки, поверхность которых покрыта продуктами гидратации цемента с формированием плотной контактной зоны на границе раздела фаз между цементной матрицей и модифицирующими добавками.

Таким образом, введение комплексной добавки из тонкомолотого асбестоцемента и механоактивированной резиновой крошки способствует уплотнению структуры матрицы, уменьшению количества и размера пор и, как следствие, способствует улучшению прочностных показателей как при изгибе, так и при сжатии.

Физико-химические исследования контрольного состава и состава с модифицирующим тонкомолотым асбестоцементным порошком с использованием ИК-спектрального анализа и дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) подтвердили изменения структуры цементной матрицы.

ИК-спектры контрольного образца и образца с 10% тонкомолотого асбестоцементного порошка, полученные на ИК-Фурье-спектрометре IRAffinity-1, показали, что при введении тонкомолотых асбестоцементных отходов состав исследуемых образцов отличается наличием «плеча» в области линий поглощения 1016,5 см⁻¹, которое связано с наличием в составе модифицированного образца высокоосновных гидросиликатов кальция, входящих в состав асбестоцементного камня. Дополнительно частицы асбестоцемента являются армирующим компонентом, способствующим уплотнению структуры цементной матрицы мелкозернистого бетона.

Дифференциально-термический анализ был проведен на дериватографе TGA/DSC-1 в диапазоне темпера-

туры 60–1100°C со скоростью нагрева 30°C/мин в атмосфере воздуха.

Результаты дифференциально-термического анализа показали изменения температуры эндотермического эффекта с 784,5°C у контрольного образца до 810,5°C у опытного образца с введением 10% асбестоцементного порошка. Отмеченный сдвиг температуры диссоциаций гидросиликатов кальция обусловлен их разной основностью, связанной с наличием в составе модифицированного образца гидросиликатов кальция, входящих в состав асбестоцементного порошка. Тонкомолотая добавка на основе отходов асбестоцемента улучшает условия гидратации и твердение цементного камня, являясь дополнительными центрами кристаллизации, и способствует образованию большего количества гидросиликатов в структуре модифицированного мелкозернистого бетона.

Выводы. Использование механоактивированной резиновой крошки в количестве 15% совместно с тонкомолотыми добавками из асбестоцементных отходов в количе-

стве 10% приводит к повышению прочностных характеристик мелкозернистого бетона: прочность при изгибе на 35,8% и прочность при сжатии на 5,2%. В разработанной композиции измельченный асбестоцемент уплотняет структуру цементной матрицы за счет увеличения содержания гидросиликатов кальция и изменения их основности. Использование резиновой крошки и тонкомолотых асбестоцементных отходов приводит к комплексному эффекту, выражающемуся в проявлении синергетического эффекта от совместного воздействия добавок на структуру и свойства модифицированного мелкозернистого бетона.

Исследованный состав модифицированного мелкозернистого бетона может быть использован при производстве мелкоштучных изделий, используемых в создании архитектурных обликов спортивных, детских и дворовых площадок. Использование бетона с улучшенными физико-механическими показателями может положительно сказаться на качестве средовых объектов и малых архитектурных форм.

Список литературы

1. Алимкулов С.О., Алматова У.И., Эгамбердиев И.Б. Отходы – глобальная экологическая проблема. Современные методы утилизации отходов // *Молодой ученый*. 2014. № 21. С. 66–70.
2. Нуждина Д.Ю. Особенности утилизации изношенных шин автомобилей в России и за рубежом. *Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, новации: Материалы Международной научно-практической конференции*. Омск, 2016. С. 574–578.
3. Покровский А.К., Эннан Н. Экология и утилизация шин // *Вестник транспорта*. 2004. № 11. С. 37–38.
4. Павловская Е.Д., Татарина Е.С., Михайличенко Т.А. Утилизация шин и резинотехнических изделий. *Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых*. Новокузнецк. 2016. С. 236–238.
5. Дериглазов А.А. Утилизация и переработка шин в крошку // *Молодой ученый*. 2014. № 17. С. 310–313.
6. Giedrius Girskas, Džigita Nagrockienė. Crushed rubber waste impact of concrete basic properties // *Construction and Building Materials*. 2017. No. 140, pp. 36–42.
7. Репина Ж.В., Чемякина Н.А., Тарская-Лаптева Е.Г. Хризотил-цементные строительные материалы. Области применения. Екатеринбург: АМБ, 2009. 152 с.
8. Нейман С.М., Везенцев А.И., Кашанский С.В. О безопасности асбестоцементных материалов и изделий М.: РИФ «Стройматериалы», 2006. 64 с.
9. Rashad A.M. A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials // *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2016. No. 5, pp. 46–82.
10. Mohammadi I., Khabbaz H., Vessalas K. In-depth assessment of crumb rubber concrete (CRC) prepared by water-soaking treatment method for rigid pavements // *Construction and Building Materials*. 2014. No. 71, pp. 456–471.
11. Segre N., Joekes I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste // *Cement and Concrete Research*. 2000. No. 30, pp. 1421–1425.
12. Reda Taha M.M., Asce M., El-Dieb A.S., Abd El-Wahab M.A., Abdel-Hameed M.E. Mechanical, fracture, and microstructural investigations of rubber concrete // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2008. No. 20, pp. 640–649.
13. Pedro D., De Brito J., Veiga R. Mortars made with fine granulate from shredded tires // *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2013. No. 25, pp. 519–529.

References

1. Alimkulov S.O., Almatova U.I., Egamberdiev I.B. Waste is a global environmental problem. Modern methods of waste management. *Molodoy ucheniy*. 2014. No. 21, pp. 66–70. (In Russian).
2. Nuzhdina D.Yu. Features of recycling of worn out tires of cars in Russia and abroad. *Architectural-building and road-transport complexes: problems, perspectives, innovations: Materials of the International Scientific and Practical Conference*. Omsk. 2016, pp. 574–578. (In Russian).
3. Pokrovskiy A.K., Ennan N. Ecology and recycling of tires. *Vestnik transporta*. 2004. No. 11, pp. 37–38. (In Russian).
4. Pavlovskaya E.D., Tatarinova E.S., Mikhailichenko T.A. Utilization of tires and rubber products. *Science and youth: problems, searches, solutions of the All-Russian scientific conference of students, graduate students and young scientists*. Novokuznetsk. 2016, pp. 236–238. (In Russian).
5. Deriglavov A.A. Recycling and processing of tires in crumbs. *Molodoy ucheniy*. 2014. No. 17, pp. 310–313. (In Russian).
6. Giedrius Girskas, Džigita Nagrockienė. Crushed rubber waste impact of concrete basic properties. *Construction and Building Materials*. 2017. No. 140, pp. 36–42.
7. Repina Zh.V., Chemyakina N.A., Tarskaya-Lapteva E.G. Khризотил-цементные строител'nye materialy. Oblasti primeneniya [Chrysotile cement building materials. Areas of use]. Ekaterinburg: AMB. 2009. 152 p.
8. Neiman S.M., Vezentsev A.I., Kashanskiy S.V. O bezopasnosti asbestotsementnykh materialov i izdeliy [On the safety of asbestos-cement materials and products] Moscow: Stroimaterialy. 2006. 64 p.
9. Rashad A.M. A comprehensive overview about recycling rubber as fine aggregate replacement in traditional cementitious materials. *International Journal of Sustainable Built Environment*. 2016. No. 5, pp. 46–82.
10. Mohammadi I., Khabbaz H., Vessalas K. In-depth assessment of crumb rubber concrete (CRC) prepared by water-soaking treatment method for rigid pavements. *Construction and Building Materials*. 2014. No. 71, pp. 456–471.
11. Segre N., Joekes I. Use of tire rubber particles as addition to cement paste. *Cement and Concrete Research*. 2000. No. 30, pp. 1421–1425.
12. Reda Taha M.M., Asce M., El-Dieb A.S., Abd El-Wahab M.A., Abdel-Hameed M.E. Mechanical, fracture, and microstructural investigations of rubber concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2008. No. 20, pp. 640–649.
13. Pedro D., De Brito J., Veiga R. Mortars made with fine granulate from shredded tires. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2013. No. 25, pp. 519–529.

Л.С. СКАМНИЦКАЯ, старший научный сотрудник (skamnits@krc.karelia.ru), Т.П. БУБНОВА, научный сотрудник (bubnova@krc.karelia.ru), С.А. СВЕТОВ, д-р геол.-мин. наук (ssvetov@krc.karelia.ru)

Институт геологии Карельского научного центра
Российской академии наук (185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11)

Перспективы использования архейских силицитов центральной Карелии (Эльмусская и Койкарская структуры) для производства строительных материалов

Приведены сведения о состоянии ситуации в строительной отрасли и существующих потребностях в горных породах для производства щебня с высокими физико-механическими характеристиками, дефицит в которых частично восполняется за счет импорта из других стран. В качестве перспективного объекта для расширения минерально-сырьевой базы Северо-Запада России изучены архейские силициты центральной Карелии. Даны общие сведения о породах и их геолого-минералогическая характеристика. Отражены результаты выполненных за последнее время исследований структуры, состава и физико-механических свойств силицитов, являющихся нетрадиционным сырьем кварц-полевошпатового состава. Показано, что в естественном виде данные породы в соответствии с техническими требованиями пригодны для производства высокопрочного щебня. Высокая кислотостойкость (>97%) позволяет использовать молотый силицит в кислотоупорных бетонах, замазках и в качестве наполнителя в лаках и красках.

Ключевые слова: силициты, высокопрочный щебень, наполнители, бетоны, вырвевые материалы, импортозамещение.

Для цитирования: Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Светов С.А. Перспективы использования архейских силицитов центральной Карелии (Эльмусская и Койкарская структуры) для производства строительных материалов // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 62–66.

L.S. SKAMNITSKAYA, Senior Researcher (skamnits@krc.karelia.ru), T.P. BUBNOVA, research assistant (bubnova@krc.karelia.ru), S.A. SVETOV, Doctor Sciences (Geology and Mineralogy) (ssvetov@krc.karelia.ru)
Institute of Geology of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences
(11, Pushkinskaya Street, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation)

Prospects of the Use of Archean Silicites of Central Karelia (Elmuskaya and Koykarskaya Structures) for Producing Building Materials

Data on the situation in the construction industry and present needs in rocks for producing the crushed stone with high physical-mechanical characteristics, which deficit is partially covered due to the import from other countries, are presented. As a perspective object for expansion of the mineral raw material base of the North-West of Russia, archean silicites have been studied. General information about rocks and their geological-mineralogical characteristics is given. Results of the recently conducted research in the structure, compositions, and physical-mechanical properties of silicites, as an untraditional raw material of quartz-field spar composition, are presented. It is shown that these rocks in their natural form are suitable for producing the high-quality crushed stone in accordance with technical requirements. High acid-resistance (>97%) makes it possible to use the ground silicite in acid-resistant concretes, mastics and as a filler in lacquers and paints.

Keywords: silicites, high-strength crushed stone, fillers, concretes, raw materials, import substitution.

For citation: Skamnitskaya L.S., Bubnova T.P., Svetov S.A. Prospects of the use of archean silicites of central Karelia (Elmuskaya and Koykarskaya structures) for producing building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 62–66. (In Russian).

Потребности в производстве строительных материалов из горных пород (щебня, наполнителей и др.) с высокими физико-механическими характеристиками обусловлены объемами строительных работ различного профиля. Повышен спрос на высокопрочный щебень с высокой морозостойкостью, прочностью, низким содержанием лещадных, глинистых и пылеватых частиц и минимальным радиационным фоном. В настоящее время в Российской Федерации сохраняется дефицит высокопрочного щебня, который частично восполняется за счет импорта из других стран. Согласно данным Федеральной таможенной службы России, суммарный импорт щебня в январе 2015 г. составил около 733 тыс т [1]. Четверку крупнейших импортеров составляют: Украина (89,6%), Беларусь (7,3%), Норвегия (2,6%), Казахстан (0,3%). Суммарная стоимость импортированного щебня в январе 2015 г. составила 13274,5 тыс дол. США.

Предприятия, производящие щебень, распределены по территории России неравномерно, так как они связаны с месторождениями природного камня (гранита, габбро, диабазы и т. д.), на базе которых работают. Таким образом, центральная часть России полностью зависит от поставок щебня из Карелии, Ленинградской

области, Урала и Украины [2]. Пролонгация ограничительной меры, установленной постановлением Правительства Российской Федерации № 556 от 17.06.2016 «О лицензировании импорта щебня, гравия, отсева дробления, материалов из отсева дробления и смесей, компонентами которых являются щебень, гравий и песок», позволила увеличить объемы производства и реализации продукции горнодобывающей отрасли. Меры, направленные на развитие внутреннего рынка, будут способствовать повышению не только количества, но и качества продукции.

Для расширения минерально-сырьевой базы Северо-Запада России [3, 4], повышения комплексности использования полезных ископаемых изучены архейские вулканогенно-осадочные породы – силициты Эльмусской и Койкарской структур (центральная часть Республики Карелия), где высококремнистые породы широко представлены [5–7] и формируют горизонты в вулканогенно-осадочных разрезах [8] изучаемых структур. Мощность толщи варьирует от 80 до 120 м. Осадочные породные последовательности испытали многократную метаморфическую и тектонометаморфическую реактивацию, что привело к формированию



Рис. 1. Выходы архейских силицитов, уч. Койкары: а – тонкослоистые; б – конкреционные; уч. Эльмус: в – массивные тонкослоистые; г – конкреционные, брекчированные

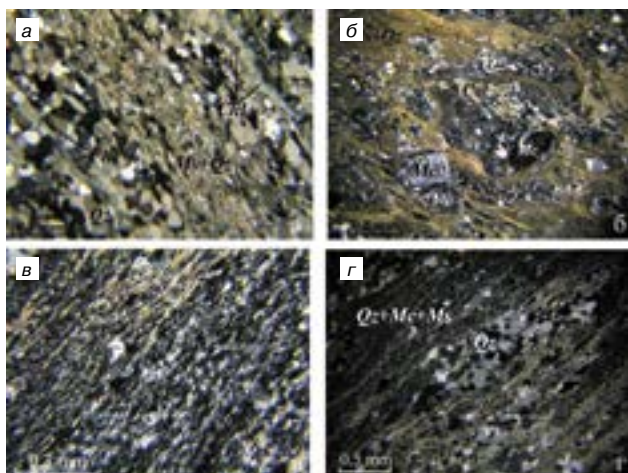


Рис. 2. Текстурно-структурные особенности силицитов Койкары (а, б), Эльмус (в, г). Фото шлифов, николи X: Qz – кварц, Mc – микроклин, Ms – мусковит

вторичных минеральных парагенезисов в условиях хлорит-серицитовой субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма [5]. Структура основной массы породы равномерно тонкозернистая. На участке Койкары массивные силициты местами имеют примесь терригенного туфового и грауваккового материала. В разрезе встречаются мощные слои (до 25 м) конкреционных разновидностей силицитов. Силициты Койкарской структуры, опробованные по трем обнажениям, имеют цвет от светло-серого до зеленовато-серого, текстура пород тонкослоистая (рис. 1, а); конкреционная (рис. 1, б), отдельные прослои имеют текстуры седиментационных брекчий. Силициты Эльмусской структуры, опробованные по четырем обнажениям, отличаются преобладанием пород розового, местами малинового цвета, текстуры пород массивные, тонкозернистые и тонкослоистые (рис. 1, в) с элементами конкреционной и брекчированной (рис. 1, г).

Кварц-полевошпатовая матрица силицитов сложена тонкими срастаниями кварца, микроклина и альбита (рис. 2, 3) размером от 0,001 до 0,01 мм. В образцах с брекчированной текстурой наблюдаются обломки калиевого полевого шпата, округлые выделения перекристаллизованного кварца, обломки кремнистых конкреций, которые цементируются кремнистыми, слюдястыми и карбонатными минералами (рис. 2, б; 3, г, з).

Тонкочешуйчатый мусковит в виде прожилков и единичных выделений, отличающихся по размерам и форме, расположен в полевых шпатах и кварце (рис. 2, 3, д, е).

Хлорит наблюдается в виде пластинок светло-зеленого цвета, ориентированных параллельно и под некоторым углом к сланцеватости, размер от 0,01×0,03 мм до 0,03×0,16; 0,03×0,14 мм (рис. 4, а); также изредка встречаются гнездообразные скопления тонкочешуйчатого хлорита светло-зеленого цвета. Повышенные содержания хлорита на уч. Койкары обуславливают темноцветные прослои в породе.

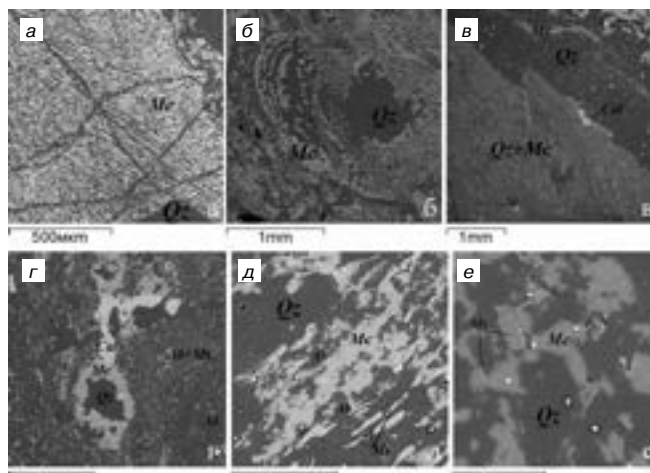


Рис. 3. Особенности микроструктуры силицитов уч. Койкары (а–в); уч. Эльмус (г–е). Изображение СЭМ VEGA II LSH, BSE-детектор: Qz – кварц, Mc – микроклин, Ms – мусковит, Cal – кальцит

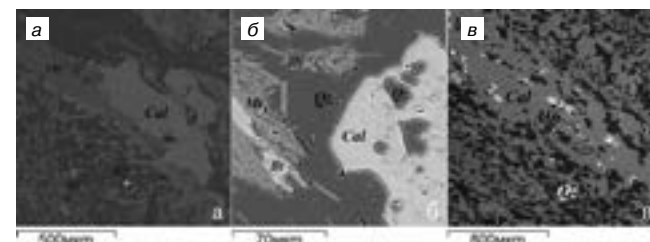


Рис. 4. Морфология выделения хлорита и кальцита. Изображение СЭМ VEGA II LSH, BSE-детектор: Qz – кварц, Mc – микроклин, Ms – мусковит, Cal – кальцит, Chl – хлорит, Bt – биотит, Aln – алланит, Zrn – циркон

Карбонат (кальцит) в породе в светлых полосах – таблитчатой (рис. 4, б), пластинчатой, ромбовидной формы с размером зерен менее миллиметра и в виде гнезд и поздних пересекающих породу прожилков (рис. 4, в).

Количественно минеральный состав силицитов, установленный по данным рентгенофазового анализа (табл. 1), характеризуется однотипным набором породообразующих минералов – это полевые шпаты, слюды и кварц. Вариации их содержаний по участку Койкары следующие: кварца 29–40%, микроклина 9–33%, альбита 10–17%, содержание мусковита по отдельным пробам, содержащим примесь терригенного туфового и грауваккового материала, достигает 65,6%. Состав силицитов уч. Эльмус практически аналогичен (табл. 1), отличаясь более низким содержанием мелкочешуйчатого мусковита и серицита и относительно большим содержанием кварца и альбита.

Вариации минерального состава определяют различия в химическом составе силицитов по участкам (табл. 2).

По вещественному составу (преобладанию кварца, полевого шпата) силициты близки к магматическим породам риолит-дацитового ряда, что дает основание отнести их к нетрадиционному кварц-полевошпатовому сырью [6].

Для определения возможности использования изучаемых высококремнистых пород при производстве

Таблица 1

Минеральный состав силицитов по обнажениям и участкам (данные рентгенофазового анализа), %

Минерал	Уч. Койкары				Уч. Эльмус			
	Обн. 1	Обн. 2	Обн. 3	Среднее по участку	Обн. 1	Обн. 2	Обн. 3	Среднее по участку
Кварц	36,5–42,6 39,55	21,8–36,8 29,3	29,1–42,3 35,7	34,85	30,4–34 31,5	33,4–51,8 40,55	44,1–49 46,35	39,47
Альбит	10,2–10,4 10,3	0–18,2 9,1	14–20,3 17,15	15,22	30,9–44 38,13	15,6–43,2 28,23	19,5–33,8 23,95	30,1
Микроклин	30,9–34,3 32,6	4,6–28 16,3	0,5–10,6 9,2	19,37	21,4–28,9 25,4	10,4–46,6 23,98	8,7–18,5 14,23	21,2
Мусковит (серицит)	10–14,9 12,45	14,8–65,9 27,55	15,2–24,6 19,9	19,97	1,8–9,1 5,03	1,6–18 6,45	4,1–15,5 12,2	7,87
Кальцит	0	0	5–9–6,9 6,4	1,07	0	0	0–6 1,25	0,3
Хлорит	1,3–3,4 5,1	0,3–3,7 0,35	0,1–18,5 12	5,81	0,3	0,6	07–3,3 1,05	0,49

Примечание. В числителе приведены минимальные-максимальные значения, в знаменателе – среднее. Анализ проводился на автоматическом дифрактометре ARL X'TRA, Thermo Fisher Scientific, в Аналитическом центре ИГ КарНЦ РАН.
Аналитик И.С. Инина

Таблица 2

Средний химический состав породы по участкам, мас. %

Участок	Кол-во проб	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	K ₂ O+Na ₂ O	K ₂ O/Na ₂ O
Койкары	8	67,16	0,33	16,02	2,39	1,6	4,79	1,49	6,07	7,33	4
Эльмус	13	75,07	0,82	11,85	0,93	0,64	0,81	3,22	4,91	8,68	2,37

Примечание. Анализ проводился в Аналитическом центре ИГ КарНЦ РАН методом мокрой химии (Пономарев, 1961). Пономарев А.И., 1961. Методы химического анализа силикатных и карбонатных горных пород. Издательство АН СССР, Москва, 414 с. Аналитик С.В. Бурдюк

Таблица 3

Данные физико-механических испытаний щебня из силицитов по участкам

Наименование показателя	Требования к испытываемой продукции	Результат испытаний по участкам	
		Койкары	Эльмус
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы, мас. %	Л-15 свыше 10 до 15 включительно	Л-1 12,71	Л-15 11,42
Марка по дробимости – потеря массы при испытании в сухом состоянии – потеря массы при испытании в водонасыщенном состоянии, %	M1400 до 9 вкл. M1200 до 12 вкл.	M1200 10,33	M1400 8,6
Сопротивление удару на копре ПМ,	–	У 8,31	У 7,89
Марка по истираемости в полочном барабане – потеря массы при испытании, %	И-1 потеря массы – до 15% И2 – до 20%	И2 19,3	И1 14,2
Содержание зерен слабых пород, мас. %	Не более 5	Нет	Нет
Морозостойкость	F-100 – потеря массы после испытания, ≤5 F-150 – потеря массы после испытания, ≤5	F-100 4,78	F-150 4,05
Содержание пылевидных и глинистых частиц, мас. %	Не более 1	0,16	0,14
Содержание глины в комках, мас. %	Не более 0,25	Нет	Нет
Насыпная плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Не нормируется	1662	1680
Средняя плотность, кг/м ³	Не нормируется	2,64	2,60
Истинная плотность, кг/м ³	Не нормируется	2,68	2,70
Водопоглощение, %	–	0,39	0,38
Реакционная активность (содержание растворимой кремнекислоты), ммоль/л	Не более 50	29	24

Таблица 4

Технические характеристики силицитов как наполнителей

Наименования показателя	Результаты испытаний по участкам	
	Койкары	Эльмус
Массовая доля водорастворимых веществ, %	0,11	0,1
Влажность, %	0,12	0,1
pH 10%-й водной суспензии	6,6	6,5
Маслоемкость по ГОСТ 21119.8-75, г/100г	29,39	28,83
Растворимость 20% HCl, %	97,03	97,62

щебня, применяемого в качестве заполнителя тяжелых бетонов, дорожных оснований и покрытий при строительных работах, в соответствии с техническими требованиями ГОСТ 32703–2014, ГОСТ 32021–2012 и ГОСТ 25607–2009 выполнено определение физико-механических показателей. Изучение проводилось в аккредитованном Испытательном центре ИГ Кар НЦ РАН (аттестат аккредитации № РООС RU00103213Г03 от 01.03.2013 г.) на валовых пробах, объединенных из частных штучных, отобранных по отдельным обнажениям.

Сравнительный анализ минерального состава силицитов по участкам (табл. 1) показывает, что при однотипном наборе породообразующих минералов силициты уч. Койкары по частным пробам характеризуются повышенным содержанием слоистых силикатов – мусковита и хлорита, относимых по ГОСТ 32703–2014 «Щебень и гравий из горных пород. Технические условия» к вредным минералам-примесям при использовании горных пород в качестве щебня.

Однако микронный размер и высокая однородность гранулометрического состава породообразующих минералов в силицитах определяет высокую прочность породы, что подтверждается данными физико-механических испытаний (табл. 3).

В соответствии с ГОСТ 8269.0–97 пористость и плотность скальных пород, используемых для производства строительного щебня, не нормируется. По физико-механическим свойствам силициты изучаемых участков центральной Карелии мало отличаются. Плотность пород 2,68–2,7 кг/м³. Прочностные характеристики пород постоянно высокие.

Из приведенных данных (табл. 3) видно, что в естественном виде породы пригодны для производства высокопрочного щебня.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов в силицитах, определенная по ГОСТ 30108–94, низкая и составила 5–6 Бк/кг, что позволяет без ограничения использовать их в любых производствах.

Отсевы дробления силицитов (фракция 5–0 мм), матрица которых состоит из тонкозернистого агрегата кварца, полевых шпатов и мусковита, изучены в качестве наполнителей в бетоны. Традиционным источником для производства наполнителей являются полевые шпаты, из-за нехватки которых в настоящее время все шире используются различные горные породы с высоким содержанием полевых шпатов [10]. Наполнители на основе полевого шпата для нужд полимерной и лакокрасочной промышленности уже более 20 лет производятся в США компанией «Лоусон Юнайтед Фелдспар энд Минерал Корпорэйшн». В России промышленное производство

аналогичной продукции на основе кварц-полевошпатового сырья организовало ООО «Ар-Тэк» [8].

Пригодность наполнителя определяется его техническими характеристиками. По данным испытаний, силициты характеризуются химической стойкостью. Кислотостойкость породы в 20% соляной кислоте высокая и составляет 97%, реакционная активность – 24–29 ммоль/л. Высокая стойкость силицитов к кислотам и щелочам позволяет их использовать в качестве кварц-полевошпатовых наполнителей (табл. 4).

Исследования показали несколько более высокую маслоемкость (~29 г/100 г) у наполнителей из силицитов по сравнению с традиционными используемыми диоксидом титана и кальцитами (18–23 г/100 г). Высокая прочность силицитов придает лакокрасочным покрытиям устойчивость к стиранию и полировке. Химическая инертность силицита в сочетании с твердостью делают этот наполнитель практически идеальным для долговечной эксплуатации даже в условиях агрессивной среды.

Физико-механические испытания архейских силицитов показали, что данная порода обладает высокой механической прочностью, является морозостойкой, обладает низкими показателями водопоглощения и может использоваться для получения высококачественного щебня и наполнителя в строительстве в следующих направлениях:

- заполнители для тяжелого бетона, а также дорожных и других видов строительных работ;
- атмосферостойкий наполнитель в фасадных красках и лакокрасочных материалах с различными связующими для наружных и внутренних работ;
- химически стойкого наполнителя для лакокрасочных материалов, предназначенных для эксплуатации в химически агрессивных, особенно кислотных средах.

Список литературы

1. Шавина Т. Рынок щебня – был бы спрос // *Строительство.ru* Всероссийский отраслевой интернет-журнал. 23.10.2013. <http://rcmm.ru/stroitelnye-materialy/21939-rynok-schebnya>
2. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2. Неметаллические полезные ископаемые. Петрозаводск: Карелия, 2005. 280 с.
3. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 01.01.2016. Вып. 76 Строительные камни. Т. 1. Ч. 3. Северо-Западный федеральный округ. М, 2016. 219 с.
4. Щипцов В.В. О потенциале минерально-сырьевой базы промышленных минералов Республики Карелия для использования в производстве строительных и технических материалов различного назначения. *Проблемы рационального использования*

References

1. Shavina T. The market of rubble – there would be a demand. *Stroitel'stvo.ru* Russian industry internet-journal. 23.10.2013. <http://rcmm.ru/stroitelnye-materialy/21939-rynok-schebnya> (In Russian).
2. Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya. Kniga 2. Nemetallicheskie poleznye iskopaemye [The mineral resources of the Republic of Karelia. Book 2. Non-metallic minerals]. Petrozavodsk: Karelia, 2005. 280 p.
3. Gosudarstvennyi balans zapasov poleznykh iskopaemykh Rossiiskoi Federatsii na 01.01.2016 Vyp. 76 Stroitel'nye kamni T. 1. Hhast' 3 Severo-zapadnyi federal'nyi okrug (State balance of mineral reserves of the Russian Federation on 01.01.2016. Iss. 76. Building stones. Vol. 1. Part 3. The North-West Federal district). Moscow, 2016. 219 p.
4. Shchiptsov V.V. On the potential of the mineral and raw materials base of industrial minerals in the Republic of



природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов. *V Всероссийская научная конференция с международным участием*. Апатиты. 2013. С. 29–32.

5. Светова А.И. Архейский вулканизм Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Карелии. Петрозаводск: КНЦ РАН, 1988. 148с.
6. Скамницкая Л.С., Бубнова Т.П., Светов С.А. Технологическая минералогия высококремнистых осадочных пород Карелии – нетрадиционного кварц-полевошпатового сырья // *Обогащение руд*. 2016. № 4. С. 22–28.
7. Светова А.И., Светов С.А., Назарова Т.Н. Мезоархейские седиментационные ансамбли в пределах офиолитоподобных комплексов Центрально-Карельского террейна // *Геология и полезные ископаемые Карелии*. 2008. Вып 11. С 135–141.
8. Стратиграфия докембрия Карелии. Опорные разрезы верхнеархейских отложений. Петрозаводск: КНЦ РАН, 1992. 190 с.
9. Кузьмина В.П. Механохимия для лакокраски. Ч. А. Производство механоактивированных природных наполнителей. М., 2016. 175 с. (http://viperson.ru/uploads/attachment/file/950302/%D0%9A%D0%BD_%D0%9C%D0%95%D0%A5%D0%90%D0%9D%D0%9E%D0%A5%D0%98%D0%9C%D0%98%D0%AF_%D0%94%D0%9B%D0%AF_%D0%9B%D0%9A%D0%9F_%D1%87_%D0%90_%D0%9F%D0%A0%D0%98%D0%A0%D0%9E%D0%94%D0%9D%D0%AB%D0%95_%D0%9D%D0%90%D0%9F%D0%9E%D0%9B%D0%9D%D0%98%D0%A2%D0%95%D0%9B%D0%98_%D0%B4%D0%BB%D1%8F_%D0%9B%D0%9A%D0%9C.PDF)
5. Svetova A.I. Arkheiskii vulkanizm Vedlozersko-Segozerskogo zelenokamennogo poyasa Karelii Archean volcanism in the Vedlozero-Segozero Greenstone belt of Karelia. Petrozavodsk: KRC RAS. 1988. 148 p.
6. Skamnitskaya L.S., Bubnova T.P., Svetov S.A. Technological mineralogy of the high-sedimentary rocks of Karelia – non-traditional quartz-feldspar raw materials. *Obogashchenie rud*. 2016. No. 4, pp. 22–28. (In Russian).
7. Svetova A.I., Svetov S.A., Nazarova T.N. Mesoarchean sedimentary ensembles within the ophiolite-like complexes of the Central Karelian terrane. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii*. 2008. Iss. 11, pp. 135–141. (In Russian).
8. Stratigrafiya dokembriya Karelii. Opornye razrezy verkhnearkheiskikh otlozheniy (Stratigraphy of the Precambrian of Karelia. Reference sections of Upper Archaean deposits). Petrozavodsk: KNTs RAN, 1992. 190 p.
9. Kuz'mina V.P. Mekhanokhimiya dlya lakokraski. Chast' A. Proizvodstvo mekhanoaktivirovannykh prirodnykh napolnitelei [Mechanochemistry for lacquer. Part A. Production of mechanically activated natural fillers]. Moscow. 2016. 175 p. (http://viperson.ru/uploads/attachment/file/950302/%D0%9A%D0%BD_%D0%9C%D0%95%D0%A5%D0%90%D0%9D%D0%9E%D0%A5%D0%98%D0%9C%D0%98%D0%AF_%D0%94%D0%9B%D0%AF_%D0%9B%D0%9A%D0%9F_%D1%87_%D0%90_%D0%9F%D0%A0%D0%98%D0%A0%D0%9E%D0%94%D0%9D%D0%AB%D0%95_%D0%9D%D0%90%D0%9F%D0%9E%D0%9B%D0%9D%D0%98%D0%A2%D0%95%D0%9B%D0%98_%D0%B4%D0%BB%D1%8F_%D0%9B%D0%9A%D0%9C.PDF)

СТРОЙ ЭКСПО КРЫМ | VIII ВЫСТАВКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО АРХИТЕКТУРА ТЕХНОЛОГИИ

20–22 ОКТЯБРЯ

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ:

- Строительство и проектирование
- Строительные материалы и оборудование
- Фасады, кровля и изоляция
- Двери, окна, автоматика
- Климатические технологии
- Интерьер, декор, свет
- Альтернативные источники энергии

Организатор выставки: м/т: +7(978) 900 90 90 т/ф: +7(3652) 620 670 www.expocrimia.com

Место проведения: РФ, Республика Крым, г.Ялта, ул. Драматического 50, ГК «ЯЛТА-ИНТУРИСТ»

Официальная поддержка:

УДК 622.35

Н.И. МОТОРНЫЙ, канд. геол.-мин. наук (motnikolaj@yandex.ru)

Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт по проблемам добычи, транспорта и переработки минерального сырья в промышленности строительных материалов (ВНИПИИстромсырье) (125080, г. Москва, Волоколамское ш., 1)

Техногенная нарушенность камня при его добыче и обработке

Облицовочные изделия изготавливаются из блоков, которые добываются в карьере. В конце прошлого века основным фактором нарушений качества камня являлись взрывные работы на карьере. В настоящее время применение взрывчатых веществ при добыче блоков ограничивается вспомогательными функциями. На одном из карьеров по добыче блоков гранита «Сансет Голд», расположенном в Китае, отделение от массива выпиленного монолита происходит с помощью камнерезных машин и взрывчатых веществ «Пурри Роше» французского производства. По данным замеров скорости ультразвукового импульса, мощность зоны техногенной трещиноватости от воздействия взрывчатых веществ составляет около 50 мм, а при резательной технологии 6–7 мм. Установлено, что детали из гранита имеют хорошо выраженную анизотропию по УЗИ при ее отсутствии на блоках, что связывается с возникновением в камне микротрещиноватости от алмазного инструмента. Это приводит к снижению физико-механических свойств камня облицовочных деталей на 10–15%. УЗ исследования плит из гранита «Цветок Урала» показывают, что падение прочностных свойств камня при его термообработке может достигать 22% (ГОСТ 30629–2012 допускает не более 20%), а зона таких техногенных нарушений распространяется на всю толщину плиты (80 мм). Кроме того, термообработка снижает показатель истираемости на 22,2%. Приводится таблица мощностей зон техногенной нарушенности при обработке камня механическим способом.

Ключевые слова: блок камня, добыча блоков, зоны нарушенности, УЗИ (ультразвуковой импульс), анизотропия, микротрещиноватость, термообработка, фактура поверхности.

Для цитирования: Моторный Н.И. Техногенная нарушенность камня при его добыче и обработке // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 67–71.

N.I. MOTORNY, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), (motnikolaj@yandex.ru)
Research and Design and Survey Institute for Problems of Extraction, Transport and Processing of Mineral Raw Materials in the Industry of Construction Materials (VNIPIIstromsyryo) (1 Volokolamskoye Shosse, 125080, Moscow, Russian Federation)

Anthropogenic Broken Condition of Stone in the Course of Its Extraction and Treatment

Facing products are fabricated from blocks which are extracted from the pit. At the end of the past century the main factor of violation of the stone quality is blasting works at the pit. At present, the use of explosives when extracting blocks is limited by auxiliary functions. At one of the pits for extracting granite blocks Sunset Gold located in China, the separation of a sawn block from the massif is made with the help of the stone-cutting machine and explosives "Purry Roche" produced in France. According to the measurement of the velocity of an ultrasonic impulse, the thickness of the zone of technogenic fissuring from the effect of explosives is about 50 mm, and at cutting technologies – 6–7 mm. It is established that granite details have a pronounced anisotropy according to UZI when it is absent on the blocks that is connected with the appearance of micro-fissuring due to the use of the diamond tool. This leads to reducing physical-mechanical properties of the stone of facing details by 10–15%. Ultrasound examination of slabs made of granite "Flower of Ural" shows that reducing strength properties of the stone in the course of its thermal treatment can reach 22% (GOST 30629–2012 permits not more than 20%), and the zone of such technogenic violations extends to the entire thickness of the slab (80 mm). Besides, thermal treatment reduces the abrasion index by 22.2%. The table of capacities of the zones of technogenic disturbance when treating the stone by mechanical means is presented.

Keywords: stone block, extraction of blocks, zones of disturbance, UZI (ultrasound impulse), anisotropy, micro-fissuring, thermal treatment, surface texture.

For citation: Motorny N.I. Anthropogenic broken condition of stone in the course of its extraction and treatment. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 67–71. (In Russian).

Прежде чем попасть в облицовку, камень проходит долгий путь. Рождение облицовочного изделия начинается в карьере, где от массива горных пород отделяется блок, пригодный по размерам и весу к транспортировке и обработке на камнеобрабатывающем заводе. Обычно объем блоков составляет около 5 м³ и соответственно их масса до 13–14 т. Высота блоков в среднем не превышает 165 мм, а длина 260 мм, что в основном обусловлено рабочим пространством камнераспиловочного оборудования.

В конце прошлого века основным фактором нарушений качества камня являлись взрывные работы на карьере [1–3]. В настоящее время в технологии добычи блоков природного камня довольно редко применяют ВВ (взрывчатые вещества), а их использование ограничивается вспомогательными функциями, например для создания горизонтальных подсечек. Тем не менее на наличие зон нарушенности камня при его добыче и обработке обычно обращают недостаточно внимания, или

не обращают вовсе [4–6]. По мнению автора и других специалистов, такие зоны необходимо выявлять и контролировать. Без этого получение строительных деталей из природного камня высокого качества невозможно.

В настоящее время большой популярностью в Китае пользуются технологии выпиливания блоков гранита с помощью камнерезных машин, оснащенных алмазными дисками большого диаметра. На одном из карьеров по добыче блоков гранита Сансет Голд, расположенном в провинции Фуцзянь (Fujian), принята система добычи с нарезкой вертикальных добычных щелей при помощи камнерезных машин (рис. 1) со стальными дисками большого диаметра, армированными алмазными сегментами, а отделение от массива выпиленного монолита происходит с помощью ВВ (взрывчатых веществ) «Пурри Роше» французского производства. При воздействии на массив ВВ неизбежно образование зоны вторичных техногенных трещин, отрицательно сказывающихся на качестве камня. Для оценки мощности



Рис. 1. Добыча блоков гранита в Китае с помощью камнерезных машин

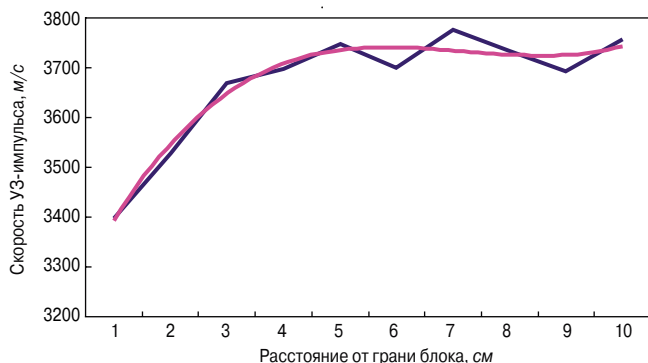


Рис. 2. Зоны техногенной трещиноватости на колотых гранях блоков гранита распространяются на 5 см. Линия тренда (розовая) имеет достоверность аппроксимации 0,954

такой зоны на грани блока наносилась шкала с интервалом между метками 10 мм и по месту каждой из меток определялась скорость УЗИ (ультразвукового импульса). По данным замеров в последующем строились графики зависимости скорости УЗИ до грани блока, что позволило определить мощность зоны техногенной трещиноватости (рис. 2), которая составила около 50 мм. Зона техногенной нарушенности блоков по пиленным граням, определенная аналогичным методом, составила 6–7 мм (рис. 3).

При раскрое блоков для выпиливания облицовочных деталей необходимо учитывать наличие зон нарушенности. Попадание участков трещиноватого камня в тело детали недопустимо, поскольку такие участки недолговечны.

На камнеобрабатывающем заводе из блоков гранита вырезают детали. Поскольку многие детали имеют сложный П-образный профиль, на первом этапе выпиливали заготовки, которые затем дорабатывались до нужной толщины на фрезерных станках (рис. 4).

Считается, что такая обработка не сопровождается ухудшением качества изделий, и вопрос о наличии зоны нарушенности в этих условиях обычно не ставится [7–10]. При контроле качества изделий из гранита «Сансет Голд» с помощью измерителя скорости УЗИ было установлено наличие такой зоны. Было обращено внимание на довольно существенную анизотропию по УЗИ некоторых обработанных деталей при ее отсутствии по блокам. Для установления характера распределения анизотропии были построены круговые диаграммы скорости ультразвукового импульса по детали (рис. 5). Падение скорости импульса свидетельствует о наличии в камне микротрещиноватости.

Установлено, что максимальное развитие наведенная техногенная трещиноватость имеет в направлении около 45° по отношению к удлинению дорабатываемой

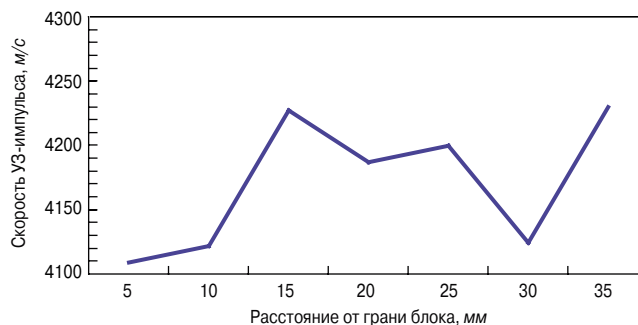


Рис. 3. Зоны техногенной трещиноватости на пиленных гранях блоков гранита распространяются на 7,5 мм



Рис. 4. Доработка поверхности гранитных изделий на фрезерном станке приводит к возникновению зоны техногенной нарушенности и снижению прочностных свойств камня

детали, что коррелируется с законами деформационного воздействия на материалы. Очевидно, снижение скорости УЗИ по таким деталям связано с возникновением дополнительной микротрещиноватости. Техногенная вторичная микротрещиноватость, по нашему мнению, возникает вследствие осевого биения алмазных дисков фрезерно-окантовочных станков при доработке деталей. Это приводит к снижению физико-механических свойств камня облицовочных деталей на 10–15%. Такие снижения свойств камня при его обработке алмазным инструментом необходимо учитывать, поскольку уменьшается долговечность и прочностные свойства деталей.

Даже в среде профессионалов недостаточно известно, что и некоторые другие способы обработки камня также могут привести к снижению прочностных свойств и долговечности. Снижение прочностных свойств камня происходит не только вследствие непосредственного воздействия породоразрушающего инструмента, но и при любом другом воздействии, сопровождающемся смещением зерен горной породы (волны в звуковом и ИЗ диапазоне, термические воздействия), или химическом воздействии [6].

Наиболее показательны здесь проведенные нами исследования, касающиеся поверхностной термообработки камня. Поставщики камня обычно считают, что такая обработка не нарушает прочностных свойств и долговечности камня. Наши исследования показывают, насколько следует обращать внимание на камень термообработанной фактуры.

Исследования проводились на гранитных плитах мощения, имеющих прямоугольную форму и размеры 400×400 мм при толщине около 80 мм. Фактура лицевой поверхности плит шероховатая, термообработанная.

По исследуемой плите камня были проведены замеры скорости распространения ультразвукового импульса

са (УЗИ) в одних и тех же местах по лицевой и тыльной поверхностям плиты. Замеры проводились с интервалом в 10 мм. В одних и тех же точках скорость УЗИ по лицевой стороне была ниже, чем по тыльной, не подвергавшейся термообработке. Это свидетельствует, что в результате термообработки прочностные свойства камня были нарушены. На основе полученных данных построен график снижения скорости УЗИ (график степени потери прочностных свойств камня) в процентах (рис. 6). График показывает, что наибольшая интенсивность вторичной, техногенной трещиноватости в результате термообработки распространена по краям плиты и в ее центральной части.

Исследовалась и мощность зоны нарушения облицовочной плиты в результате термообработки. С этой целью по всем четырем бортам изделия с шагом в 5 мм проводились замеры скорости УЗИ. Полученные данные показывают, что довольно резкое падение скорости по мере перемещения точек замеров от тыльной стороны в центральные части плиты устанавливается по всем бортам. Наибольшее падение скорости наблюдается в центральных частях плиты, где воздействие высокой температуры на камень было максимальным.

Известно, что падение скорости ультразвукового импульса по камню пропорционально падению его прочностных свойств. Значения падения в процентах прочностных свойств плиты из гранита по мере смещения точек замера от тыльной стороны к лицевой отражены на рис. 7. Полученные данные показывают, что такое падение может достигать 22% (ГОСТ 30629–2012 допускает не более 20%) [11, 12]. Такие факты вызывают серьезные сомнения в пригодности плит из гранита после их термообработки для наружной облицовки.

Также были проведены исследования по влиянию термообработки гранита на сопротивление истирающим нагрузкам. Лабораторные исследования показывают, что поверхность гранита, подвергнутая термической обработке, снижает показатель истираемости на 22,2%, что также следует учитывать при использовании такого камня для настила полов.

Следует обратить внимание и еще на один фактор, касающийся изменения геометрических параметров изделия в процессе его обработки, поскольку это может привести к существенному снижению качества детали и ее долговечности.

Механические, тепловые, химические способы обработки лицевой

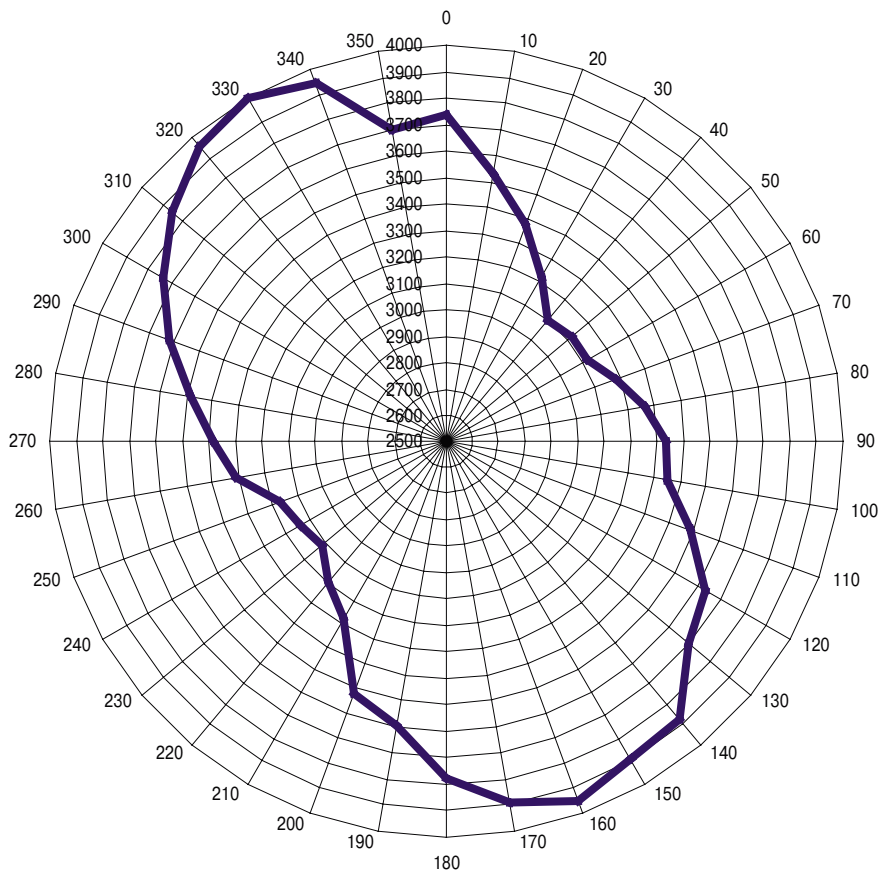


Рис. 5. Снижение скорости распространения УЗИ на деталях из гранита «Сансет Голд» может достигать 22,5%

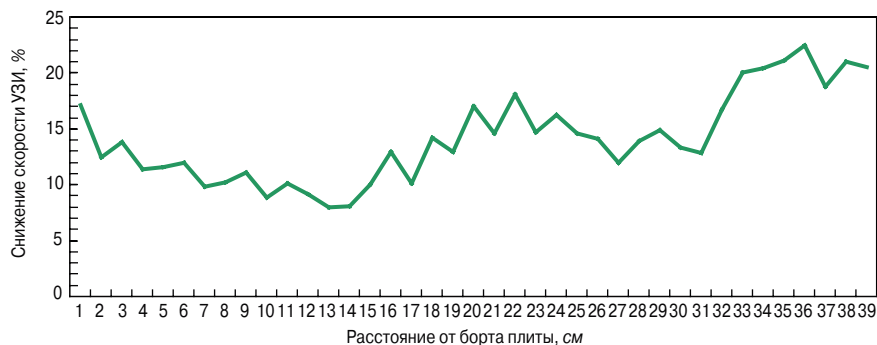


Рис. 6. Снижение скорости ультразвукового импульса по термообработанной поверхности плиты из гранита по сравнению с тыльной стороной

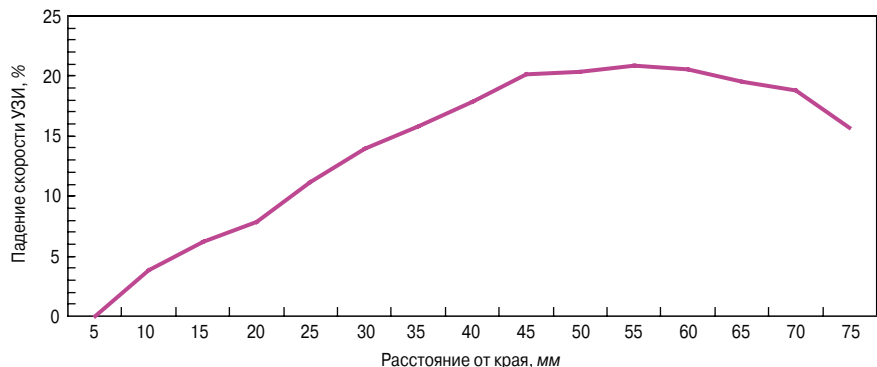


Рис. 7. График падения скорости ультразвукового импульса по мере смещения точек замера от тыльной стороны плиты из гранита к ее лицевой стороне, подвергнутой термообработке

поверхности камня для создания нужной фактуры сопровождаются потерей части поверхностного слоя. Считается, что фактура создается на детали один раз, при ее изготовлении и геометрические параметры детали заложенные в проекте, со временем остаются неизменными. Здесь следует обратить внимание на случаи, когда возникает необходимость повторной обработки поверхности, очистки детали, либо для создания другой фактуры. Создание на поверхности детали более грубой фактуры по сравнению с уже имеющейся, проблемами не сопровождается. Создание же более тонкой фактуры на имеющейся более грубой требует соблюдения определенных правил, учитывающих техногенную зону нарушения, имеющейся фактуры и требуемую толщину снятия камня для создания новой.

По нашим данным, фактуры лицевой поверхности плит могут сопровождаться зонами техногенной нарушения в виде микротрещиноватости в следующих пределах (без учета микрорельефа):

- полированная 3–15 мкм;
- лощеная 15–45 мкм;
- шлифованная 120–600 мкм;
- пиленая 500–2500 мкм;
- точечная (бучардованная) 3–12 мм;
- термообработанная 10–55 мм;
- водоструйнообработанная (аква) 1–6 мм;
- пескоструйная 0,5–0,8 мм;
- антик (механическая) 0,2–3 мм.

При создании на камне новой фактуры следует учитывать необходимость удаления при этом некоторого поверхностного слоя камня. Толщина такого слоя складывается из зоны техногенной нарушения предыдущей фактуры плюс слой камня, необходимый для формирования новой фактуры. Ориентировочно вновь создаваемая на поверхности камня фактура сопровождается снятием верхнего слоя камня в следующих пределах (без учета выравнивания рельефа):

- полированная более 300 мкм;
- лощеная более 280 мкм;
- шлифованная более 250 мкм;
- пиленая более 2 мм;
- точечная (бучардованная) более 5 мм;
- термообработанная более 10 мм;
- водоструйнообработанная (аква) более 5 мм;
- пескоструйная более 0,8 мм;
- антик (механическая) более 2 мм.

Создание более тонкой фактуры по сравнению с имеющейся потребует полного удаления следов предыдущей в соответствии с приведенными данными. При создании же более грубой по сравнению с имеющейся, фактуры в удалении следов предыдущей, более тонкой нет необходимости.

Изложенное выше показывает, что получить хорошую полировку на термообработанной фактуре практически невозможно, а переполіровка бучардованной и водоструйной фактур будет связана с большими затратами. Необходимо учитывать, что изменение фактуры связано с удалением части поверхностного слоя камня, что может привести к уменьшению его толщины в недопустимых пределах.

Фирмы, проводящие популярную в последнее время пескоструйную очистку каменных фасадов от загрязнений, не учитывают неизбежный при этом износ камня. Следует иметь в виду, что при пескоструйной обработке камня неизбежно снимается поверхностный слой. Толщина слоя, снимаемого при пескоструйной обработке изделий из среднезернистого гранита, со-

ставляет в среднем 0,8 мм. При этом отдельные образующиеся каверны могут достигать глубины 1,2 мм.

При толщине деталей каменной облицовки фасада 30 мм и проектной ее долговечности 50 лет, допустимое уменьшение толщины плиты составляет 3 мм, при меньшей толщине деталь теряет свои прочностные свойства в недопустимых пределах (более 20%). Отсюда, мы можем допустить (3/0,8) не более четырех циклов очистки камня пескоструйным способом в период эксплуатации каменной облицовки объекта, т. е. если загрязнения будут появляться с периодичностью, не менее чем через (50/4) 12,5 лет, их очистку целесообразно осуществлять пескоструйной обработкой.

При повторном появлении загрязнений с цикличностью менее чем через 12,5 лет пескоструйный способ очистки неприемлем, требуется другой способ, не приводящий к уменьшению толщины детали. В таких случаях могут использоваться химические способы очистки, горячим паром и т. п.

При очистке камня химическим способом не происходит уменьшения толщины детали. Деталь сохраняет свои физико-механические свойства на весь период эксплуатации каменной облицовки. Загрязнения типа ржавых пятен могут быть очищены с поверхности изделий из гранита за один цикл.

Приводимые сведения о зонах техногенной нарушения, возникающих в камне при его добыче и обработке, необходимо учитывать при приобретении блоков и при выборе технологии их обработки, что предотвратит поступление на стройки некачественного материала с низкой долговечностью. Мероприятия же по предотвращению преждевременной деградации камня требуют значительных затрат времени и средств (CARRARA MARMOTEC 2016. Доклады: Dr Marco Mazzoni-Responsible of the IMM laboratory for testing stones, STONELAB; Arch. Federica Rosso. Experimental analysis of degradation affecting thin marble constructive elements due to the pollution; Dr Fabio Fratini. Techniques and products to prevent the stone degradation and to maintain and restore it.)

Список литературы

1. Моторный Н.И. Нарушенность массива при ведении взрывных работ // Строительные материалы. 1994. № 8. С. 8–9.
2. Петров В.П. Сложные загадки простого строительного камня. М.: Недра, 1984. 149 с.
3. Чернышев С.Н. Трещины горных пород. М.: Высшая школа, 1983. 240 с.
4. Симонов П.С. Основные принципы проектирования параметров буровзрывных работ на отрыв. Магнитогорск: МГТУ, 2013. С. 38–42.
5. Першин Г.Д., Митин А.Н. Техничко-экономическое обоснование технологических параметров многопроходной многодисковой распиловки природного камня высокой прочности. Магнитогорск: МГТУ, 2013. С. 78–89.
6. Латышев О.Г., Карасев К.А., Казак О.О. Использование поверхностно-активных веществ в процессах буровзрывных работ при разработке месторождений природного камня. Магнитогорск: МГТУ, 2014. С. 196–202.
7. Сычев Ю.И., Берлин Ю.Я. Шлифовально-полировальные и фрезерные работы по камню. М.: Стройиздат, 1985. 312 с.
8. Казарян Ж.А. Технология добычи и обработки природного камня. М.: НИТУ МИСИС, 2015. 278 с.
9. Казарян Ж.А. Инструмент для добычи и обработки природного камня. М.: МГИ, 1990. 80 с.

10. Казарян Ж.А. Природный камень в строительстве: обработка, дизайн, облицовка. Изд. 2-е М.: НИТУ МИСИС, 2015. 297 с.
11. ГОСТ 9479–2011. Блоки из горных пород для производства облицовочных, архитектурно-строительных, мемориальных и других изделий. М.: Стандартинформ, 2012.
12. ГОСТ 30629–2011. Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2012.

References

1. Motorniy N.I. Disturbance of the array during blasting operations. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1994. No. 8, pp. 8–9. (In Russian).
2. Petrov V.P. Slozhnye zagadki prostogo stroitel'nogo kamnya [Complex puzzles of a simple building stone]. Moscow: Nedra. 1984. 149 p.
3. Chernyshev S.N. Treshchiny gornykh porod [Cracks in rocks.]. Moscow: Vysshaya shkola. 1983. 240 p.
4. Simonov P.S. Osnovnye printsiipy proektirovaniya parametrov burovzryvnykh работ na otryv [Basic principles of designing parameters for drilling and blasting operations for separation.]. Magnitogorsk: MGTU. 2013. Pp. 38–42.
5. Pershin G.D., Mitin A.N. Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie tekhnologicheskikh parametrov mnogo-prokhodnoi mnogodiskovoi raspilovki prirodnogo kamnya vysokoi prochnosti [Feasibility study of technological pa-

- rameters of multi-pass multi-disc sawing of natural stone of high strength]. Magnitogorsk: MGTU. 2013. Pp. 78–89.
6. Latyshev O.G., Karasev K.A., Kazak O.O. Ispol'zovanie poverkhnostno-aktivnykh veshchestv v protsessakh burovzryvnykh работ pri razrabotke mestorozhdenii prirodnogo kamnya [The use of surfactants in drilling and blasting operations in the development of natural stone deposits]. Magnitogorsk: MGTU. 2014. Pp. 196–202.
7. Sychev Yu.I., Berlin Yu.Ya. Shlifoval'no-poliroval'nye i frezernye работы po kamnyu [Grinding and polishing and milling work on stone]. Moscow: Stroyizdat. 1985. 312 p.
8. Kazaryan Zh.A. Tekhnologiya dobychi i obrabotki prirodnogo kamnya [Technology of extraction and processing of natural stone]. Moscow: NITU MISIS. 2015. 278 p.
9. Kazaryan Zh.A. Instrument dlya dobychi i obrabotki prirodnogo kamnya [Tool for extraction and processing of natural stone]. Moscow: MGI. 1990. 80 p.
10. Kazaryan Zh.A. Prirodnyi kamen' v stroitel'stve: obrabotka, dizain, oblitovka. Izd. 2 [Natural stone in construction: processing, design, facing. Ed. 2.]. Moscow: NITU MISIS, 2015. 297 p.
11. ГОСТ 9479–2011. *Bloki iz gornykh пород dlya proizvodstva oblitovochnykh, arkhitekturno-stroitel'nykh, memorial'nykh i drugikh izdeliy* [Blocks from rocks for the production of facing, architectural and construction, memorial and other products]. Moscow: Standartinform. 2012. (In Russian).
12. ГОСТ 30629–2011. *Materialy i izdeliya oblitovochnye iz gornykh пород. Metody ispytaniy* [Materials and products facing from the rocks. Methods of testing]. Moscow: Standartinform. 2012. (In Russian).

г. Воронеж, площадь Детей, 1
ДВОРЕЦ ДЕТЕЙ И МОЛОДЕЖИ
 СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ФОРУМ-ВЫСТАВКА
СТРОИТЕЛЬСТВО
ЖКХ 26-27.10.2017

ВМ технологии. Лучшие практики
 Развитие ЖКХ. Передовой опыт ЦСР
 Осенняя распродажа недвижимости
 Строительные материалы и оборудование

Правительство Воронежской области
 Союз строителей Воронежской области
 Торгово-промышленная палата Воронежской области
 Российский союз строителей
 Вета-экспо

www.veta.ru stroy@veta.ru

ВСЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПАНИИ НА ОДНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ЖКХ. ГОТОВИМСЯ К ЗИМЕ

ПО ВОПРОСАМ УЧАСТИЯ И ПАРТНЕРСТВА тел.: +7(473) 251-20-12

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера, 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 (ссылки на авторефераты диссертаций не допускаются).

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 2–5 лет 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 5 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.

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

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

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

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/88>

X Международная конференция / X International Conference

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ NANO-TECHNOLOGY IN CONSTRUCTION NTC-2018

13-17 апреля 2018 г.
13-17 April, 2018

Прибытие и регистрация участников / Arrival & Registration 13.04.2018
Дни проведения конференции / Scientific activities 14-16.04.2018
Отъезд / Departure 17.04.2018

Хургада, Египет
Hurgada, Egypt

Отель / Hotel
Sunny Days El Palacio Resort & Spa

Организатор конференции / Organizer

Национальный исследовательский центр жилья и строительства (HBRC)
Housing & Building National Research Center (HBRC)



Соорганизаторы конференции / Co-organizers

Министерство жилищно-коммунального хозяйства и городского сообщества
Ministry of Housing, Utilities and Urban Communities



Египетско-русский университет
Egyptian Russian University (ERU)



Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова
Kalashnikov Izhevsk State Technical University (ISTU)



Тематика конференции / Conference Themes

- Синтез и применение наночастиц
- Наноразмерная характеристика материалов.
- Наноструктурированные или нанопористые материалы и нанокompозиты
- Наноматериалы для медицины
- Применение нанотехнологий в красках, покрытиях, слоях и мембранах.
- Наноматериалы в архитектуре для энергоэффективности, внутреннего экологического качества и устойчивости.
- Эффективность нанотехнологий в огнезащите.
- Другие.
- Nanoparticles synthesis and applications.
- Nanoscale materials characterization.
- Nanostructured or nanoporous materials and nanocomposites
- Nanomaterials for structural health monitoring and sensing.
- Application of nanotechnology in paints, coatings, layers and membranes.
- Nanomaterials in architecture for energy efficiency, indoor environmental quality and sustainability.
- Nano-technology's effect of fire performance.
- Others.

Параллельно с конференцией в помещении отеля будет проходить выставка.
Экспонаты предоставляются следующие категории спонсорского участия:
Exhibition: An exhibition will be held at the Hotel premises.
Exhibitors are welcomed for sponsoring with the following categories & fees:

Bronze	Silver	Gold
1000 \$	1500 \$	2000 \$

Основные даты и условия участия / Deadlines and Conference fees

- Принятие рефератов (abstract) 01/11/2017
 - Представление полной рукописи 01/12/2017
 - Принятие полных рукописей 01/01/2018
 - Окончательный прием заявок 01/02/2018
- Для участников, не являющихся египтянами, регистрационный взнос за участие в конференции (исключая проживание, транспорт и общественные мероприятия), составляет 200 долл. США/чел. и 100 долл. США/чел для студентов.
- Регистрационный взнос за полный пакет участника (с проживанием, трансфером и общественными мероприятиями) составляет 500 долл. США/чел и 300 долл. США/чел для студентов.
- Оплата производится: Банковским переводом в QNB Qatar National Bank Al Ahli, Swift Code QNB AEGCXXX, № счета 00037 00152 20315560107-56, Египетско-Российский университет.
- Acceptance for abstract 01/11/2017
 - Submission of full manuscript 01/12/2017
 - Acceptance for full manuscripts 01/01/2018
 - Final acceptance 01/02/2018
- For Non Egyptian participants, the conference registration fees excluding accommodation, transportation and social activities is 200 USD/Person and 100 USD/Person for Non Egyptian students.
- A package for accommodation, internal transportation and social activities is available for Non Egyptian participants for 500 USD/Person and 300 USD/Person for Non Egyptian students.
- Payment of fees must be: by Bank transfer to QNB Qatar National Bank Al Ahli, swift code QNB AEGCXXX, Account No. 00037 00152 20315560107-56, Egyptian-Russian University.

Информационная поддержка – журнал «Строительные материалы»®
Information support – the «Construction Materials» journal

СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®

К проведению конференции планируется выпуск журнала «Строительные материалы» № 1-2.2018. Статьи будут публиковаться на двух языках (русский английский). Срок подачи материала в редакцию до 13.01.2018 / To holding a conference the issue of the journal «Construction Materials» 1-2.2018 is planned. Articles will be published in two languages (Russian, English). Deadline for submitting the material to the editorial office before 13.01.2018

Контактная информация в России / Contact information in Russia

Профессор Григорий Иванович Яковлев
ИжГТУ им. М.Т. Калашникова
E-mail: gyakov@istu.ru Тел.: 89128566688
Факс: +7(3412)592555
Prof. G.I. Yakovlev
Studencheskaya Str., 7, Izhevsk, 426069, Russia
Mob. +79128566688, E-mail: gyakov@istu.ru

Контактная информация в Египте (только на английском языке)

/ Contact information in Egypt (English only)
Prof. Magdy Helal, Prof. Sayed Shebl
Housing & Building National Research Center
El-Tahrir Street, Dokki, Giza-Egypt
Tel: +20233356853, 37617107
Mr. Haysam Wahed
Mob: +201226293390
info@ntchbrc.com ntc_nano@yahoo.com

Более подробную информацию можно найти на сайте конференции / More information can be found on the website www.ntchbrc.com



Российская гипсовая ассоциация
Московский государственный строительный университет
Научно-исследовательский институт строительной физики

20–21 сентября 2018 г.

Республика Беларусь, г. Минск

Девятая Международная конференция
**«Повышение
эффективности производства
и применения гипсовых
материалов и изделий»**

Тематика конференции:

- технический прогресс в области гипсовых материалов и изделий (исследования, производство и применение)
- ангидритовые вяжущие
- гипсовые материалы в малоэтажном строительстве
- современное оборудование для производства гипсовых вяжущих, материалов и изделий на их основе
- привлекательность и механизмы инноваций в гипсовой отрасли
- лаборатории, менеджмент качества, экологический менеджмент и их роль в обеспечении качества и долговечности гипсовых материалов
- нормативно-техническая документация в соответствии с современными требованиями
- обучение и переподготовка специалистов в области производства и применения гипсовых материалов и изделий

Генеральный информационный спонсор: журнал

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**

Оргкомитет:
140050, Московская обл., п. Красково, ул. К. Маркса, д. 117, РГА
Телефон: +7 8-916-501-36-56
E-mail: rga-service@mail.ru
www.rosgips.ru