

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ® №12



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

ДЕКАБРЬ 2016 г. (744)



*Made with Italy*

## MARCHELUZZO — IMPIANTI —

HEAVY CLAY & CERAMIC TECHNOLOGY

SINCE 1971

## Технологии для будущего России.

Компания Marcheluzzo Impianti основана в 1971 году и является компанией семейного характера с большим опытом работы, позволяющим осуществлять программы поставок укомплектованного оборудования, от проекта до ввода в эксплуатацию заводов «под ключ» для производства всех типов кирпича и керамических изделий.



## VII Международная научно-практическая конференция «InterConPan: от КПД к каркасно-панельному домостроению»

# InterConPan–2017

International Conference of Large-panel Construction

4–6 апреля 2017 г. / April 4–6, 2017

Чебоксары / Cheboksary



### ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ:

- Состояние базы крупнопанельного домостроения в РФ
- Модернизация предприятий КПД
- Оборудование и технологии
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Архитектурно-планировочные решения
- Качество и энергоэффективность полносборных зданий
- Расчет и конструирование узлов сборных элементов
- Новые решения фасадов
- Опыт строительства крупнопанельного жилья

### ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ:

- 4 апреля** 1) пленарное заседание  
2) выездная сессия:  
ОАО «Железобетонные конструкции №1»  
Жилые комплексы (Чебоксары)
- 5 апреля** Научно-практическая конференция.  
Секции: «Архитектура и особенности проектных  
решений крупнопанельных зданий»;  
«Гибкая технология предприятий ДСК и КПД»
- 6 апреля** выездная сессия:  
ООО «ГАЛЕН»

Спонсор конференции:



Партнеры конференции:



К проведению конференции готовятся тематические номера журналов

«Жилищное строительство» № 3-2017 г. и «Строительные материалы»® № 3-2017 г.,

в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 15.02.2017 г.

### Организационный комитет:

Телефон/факс: +7 (499) 976-20-36, 976-22-08

kpd-conf@mail.ru;

mail@rifsm.ru

www.rifsm.ru

Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3 редакция журнала «Жилищное строительство»

**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<sup>®</sup> № 12

Основан в 1955 г.

(744) декабрь 2016 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,  
 член-корреспондент РАН  
 (Санкт-Петербург)

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

**ГОРИН В. М.**,  
 канд. техн. наук, президент Союза  
 производителей керамики 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)

**ХЕЛМИ Ш. С.**,  
 канд. техн. наук (Египет)

**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»<sup>®</sup>, 2016

## Силикатные строительные материалы

**X Международная конференция СИЛИКАТэкс в Липецке (Информация)..... 4**

А.А. СЕМЁНОВ

**Краткая характеристика структуры спроса на силикатные стеновые материалы ..... 10**

М.В. КОРНЕВ, Т.П. КОРНЕВА

**Стойкость силикатных материалов в горячей воде. Результаты исследований производителей силикатных изделий..... 12**

Г.В. КУЗНЕЦОВА, Н.Н. МОРОЗОВА

**Пигменты и объемное окрашивание ..... 14**

О.И. ПОНОМАРЕВ, А.М. ГОРБУНОВ, О.С. ЧИГРИНА,  
 М.А. МУХИН, А.В. ПЕСТРИЦКИЙ, В.В. КОЗЛОВ, М.В. КОРНЕВ

**О разработке методического пособия по проектированию несущих и ограждающих конструкций из изделий на основе модифицированного силикатобетона ..... 18**

В.С. ЛЕСОВИК, Л.Х. ЗАГОРОДНЮК, А.А. КУПРИНА,  
 М.Ю. ЕЛИСТРАТКИН, А.Н. ВОЛОДЧЕНКО

**Эффективные кладочные растворы для автоклавных стеновых материалов..... 22**

## Керамические строительные материалы

**Tecnargilla 2016 (Информация)..... 26**

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, Г.Я. ШАЕВИЧ, А.В. АНДРИАНОВ, Д.А. ПЕРМЕНЕВ

**Эффективное смешивание инновационным смесителем «ТОРС» ..... 30**

М.В. ЛОПАТИНА, С.В. АНТОНЬЧЕВ

**Комплексное теплотехнологическое обследование туннельной печи для обжига кирпича..... 34**

А.Ю. СТОЛБОВУШКИН, О.А. ФОМИНА, Д.В. АКСТ, А.И. ИВАНОВ, М.С. ДРУЖИНИН

**Получение декоративной стеновой керамики из глинистого сырья и отходов добычи марганцевых руд..... 38**

А.М. САЛАХОВ, В.П. МОРОЗОВ, О.Н. ЛИС, М.В. ПАСЫНКОВ

**Керамические материалы из легкоплавких глин, модифицированных промышленными отходами предприятий нефтехимического комплекса ..... 46**

И.А. ЖЕНЖУРИСТ

**Перспективы СВЧ термообработки в технологии получения спеченной керамики на основе диатомита и алюмонатриевого модификатора ..... 51**

В.А. ГУРЬЕВА, В.В. ДУБИНЕЦКИЙ, К.М. ВДОВИН, Н.В. БУТРИМОВА

**Стеновая керамика на основе высококальцинированного сырья Оренбуржья .... 55**

## Материалы и конструкции

Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ, Г.А. ПОНАРИН

**Взаимодействие шипованных шин с дорожным покрытием..... 60**

И.В. КАРАКОЗОВА

**Классификация и кодирование элементов для нужд строительной отрасли..... 64**

**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®

## № 12

Founded in 1955 (744) December 2016 r.

### 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),  
Corresponding Member 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)

**KHELMI Sh. S.**,  
Candidate of Sciences (Engineering),  
(Egypt, Cairo)

**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)

### Silicate building materials

#### X International Scientific and Practical Conference «SILIKATex-2016» in Lipetsk (Information) .....

A.A. SEMYONOV

#### A Brief Characteristic of Demand Pattern for Silicate Wall Materials .....

M.V. KORNEV, T.P. KORNEVA

#### Resistance of Silicate Materials to Hot Water.

#### Results of Researches of Silicate Products Manufacturers .....

G.V. KUZNETSOVA, N.N. MOROZOVA

#### Pigments and Volumetric Coloring .....

O.I. PONOMAREV, A.M. GORBUNOV, O.S. CHIGRINA,  
M.A. MUKHIN, A.V. PESTRITSKIY, V.V. KOZLOV, M.V. KORNEV

#### About Development of Guidance Manual for Design of Bearing and Enclosing Structures with the Use Products on the Basis of Modified Silicate Concrete .....

V.S. LESOVIK, L.Kh. ZAGORODNYUK, A.A. KUPRINA,  
M.Yu. ELISTRATKIN, A.N. VOLODCHENKO

#### Efficient Masonry Mortars for Autoclaved Wall Materials .....

### Ceramic building materials

#### Tecnargilla 2016 (Information).....

I.F. SHLEGEL, G.Ya. SHAEVICH, A.V. ANDRIANOV, D.A. PERMENEV

#### Efficient Mixing with Innovative Mixer «TORS» .....

M.V. LOPATINA, S.V. ANTONYCHEV

#### Complex Heat-Technological Inspection of a Tunnel Kiln for Brick Burning .....

A.Yu. STOLBOUSHKIN, O.A. FOMINA, D.V. AKST, A.I. IVANOV, M.S. DRUZHININ

#### Production of Decorative Wall Ceramics from Argillous Raw Material and Wastes of Manganese Ore Mining .....

A.M.SALAKHOV, V.P. MOROZOV, O.N. LIS, M.V. PASYNKOV

#### Ceramic Materials of Low-Melting Clays Modified with Industrial Waste of Petrochemical Complex Enterprises .....

I.A. ZHENZHURIST

#### Prospects of Ultra-High Frequency Heat Treatment in Technology of Producing Sintered Ceramic on the Basis of Diatomite and an Aluminum-Sodium Modifier .....

V.A. GURIEVA, V.V. DUBINETSKIY, K.M. VDOVIN, N.V. BUTRIMOVA

#### Wall Ceramic on the Basis of Highly Calcined Raw Materials of Orenburzhye .....

### Materials and structures

Yu.E. VASIL'EV, G.A. PONARIN

#### Interaction of Studded Tires with Road Pavement .....

I.V. KARAKOZOVA

#### Classification and Coding of Elements for Needs of Construction Industry .....

**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 № 12

## Результаты научных исследований

Международная научно-техническая конференция «Высокопрочные цементные бетоны: технологии, конструкции, экономика» (ВПБ-016) (Информация) .....	68
В.П. СЕЛЯЕВ, П.В. СЕЛЯЕВ, Е.Л. КЕЧУТКИНА Эволюция теории прочности бетонов. От простого к сложному .....	70
А.Ю. ФОМИН, В.Г. ХОЗИН Новые серосодержащие материалы для дорожного строительства .....	80
С.В. ФЕДОСОВ, В.Г. КОТЛОВ, Р.М. АЛОЯН, М.В. БОЧКОВ, Р.А. МАКАРОВ Экспериментальное исследование процессов теплопереноса в болтовом нагельном соединении .....	83
А.А. КУСТОВ, А.М. ИБРАГИМОВ Методики и результаты натурных испытаний технических тканей с покрытием. Часть 2. Обзор проведенных исследований .....	86
Указатель статей, опубликованных в журнале «Строительные материалы» в 2016 г. ....	91

# Stroitel'nye Materialy No. 12

## Results of scientific research

International Scientific-Technical Conference "High-Strength Cement Concretes: Technologies, Constructions, Economics" (HSC-2016) (Information) .....	68
V.P. SELYAEV, P.V. SELYAEV, E.L. KECHUTKINA Evolution of the Theory of Concrete Strength. From Simple to Complex .....	70
A.Yu. FOMIN, V.G. KHOZIN New Sulfur-Containing Materials for Road Construction .....	80
S.V. FEDOSOV, V.G. KOTLOV, R.M. ALOYAN, M.V. BOCHKOV, R.A. MAKAROV Experimental Study of Heat Transfer Processes in a Bolt Dowel Joints .....	83
A.A. KUSTOV, A.M. IBRAGIMOV Procedures and Results of Full Scale Tests of Technical Fabrics with Coating. Part 2. Review of Conducted Studies .....	86
Index of Articles Published in the Journal «Construction Materials» in 2016 .....	91

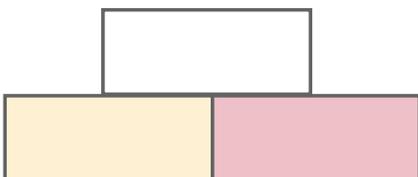
*Уважаемые коллеги!  
Здоровья, счастья, удач  
в Новом  
2017 году!!!*

*Редакция журнала  
«Строительные материалы»®*

# X Международная конференция СИЛИКАТэкс в Липецке

9–20 октября 2016 г. в Липецке состоялась X Международная научно-практическая конференция СИЛИКАТэкс «Развитие производства силикатного кирпича в России». Ее организует журнал «Строительные материалы»®.

## СИЛИКАТэкс



Десятилетие СИЛИКАТэкса отмечено памятными знаками, которые были вручены руководителям делегаций – компании Ласко, Айрих и Маза.



Генеральным спонсором юбилейной конференции выступила одна из старейших германских компаний в области производства прессового оборудования для силикатного кирпича Ласко Умформтехник ГмбХ (Ласко). Спонсорскую помощь в проведении конференции оказали компании Машиненфабрик Густав Айрих ГмбХ & Ко КГ (Айрих) и МАЗА ГмбХ (Маза).

В конференции СИЛИКАТэкс-2016 приняло участие около 110 специалистов из 28 регионов РФ от Санкт-Петербурга до Иркутской области, Беларуси, Казахстана, Германии, Китая, Словении. Атмосфера юбилейной конференции была пронизана радостью встреч добрых друзей, партнеров и соратников. За минувшие 10 лет отрасль сделала значительный шаг в развитии: реконструировались предприятия, открылись новые производства, в результате чего появилась продукция нового качества. В связи с этим назрела необходимость пересмотра отраслевых стандартов, введения новых нормативных документов для применения силикатных материалов. Конференция СИЛИКАТэкс сыграла решающую роль в организации и становлении ассоциации силикатчиков.

Для многих специалистов участие в СИЛИКАТэксе стало не только профессиональной необходимостью, но и возможностью обсуждения отраслевых проблем и неформального общения с единомышленниками.

Регламент конференции уже многие годы неизменен: первый день работы – пленарное заседание, второй день – производственная экскурсия на завод. Однако в этот раз традиция была дополнена: благодаря спонсорской помощи компании ТД Марсел – ведущего поставщика пигментов для силикатной промышленности – была организована регистрация участников конференции накануне пленарного дня.

Тематически все доклады пленарной части были расположены в соответствии с технологической цепочкой – от подготовки сырья до упаковки продукции и вопросов диверсификации производства.

Объективный обзор развития отрасли всегда ждут как представители силикатных заводов, так и поставщики оборудования, сырья, добавок. Доклад А.А. Семёнова (ООО «ГС-Эксперт») о тенденциях развития силикатной промышленности и перевооружения силикатных заводов, был воспринят с большим интересом. Частично доклад читайте на стр. 10–11.

Цветной силикатный кирпич на многих заводах прочно вошел в ассортимент продукции. Для повышения качества окрашивания силикатной массы компания Вюршум ГмбХ поставляет оборудование для дозирования пигментов. В своем выступлении А. Бабель, инженер компании Вюршум, представил проект линии, поставленной на Липецкий силикатный завод. С осени 2016 г. на предприятии выпускается окрашенный кирпич трех цветов.



С.Л. Еськова и А.В. Маделов (ООО «Силикат», Ульяновская обл.) знают о производстве силикатного кирпича все. Но в СИЛИКАТэксе участвовали все 10 раз. Памятные призы в честь 10-летия конференции



Компания Ласко с 90-х гг. XX века начала выпуск прессов для силикатного кирпича. В настоящее время в России и странах СНГ работают гидравлические прессы компании для одностороннего и двустороннего прессования, предназначенные для производства спектра изделий от традиционного силикатного кирпича до силикатных крупноформатных блоков. Руководитель отдела продаж компании Ласко Умформтехник по РФ и СНГ К. Браунгардт и представитель в РФ П.П. Пирогов представили один из недавно завершённых проектов компании – новую линию силикатного завода, где установлены четыре прессы KSE 1250.



Компания ВКБ Системс – один из давних партнеров конференции СИЛИКАТэкс. Генеральный директор компании Д. Кениг отметил, что в настоящее время на территории постсоветского пространства работает более 70 прессов компании, но будущее силикатного производства заключается в роботизации заводов. Компания ввела в действие первую роботизированную линию по производству силикатных перемычек толщиной 115, 175 и 240 мм и длиной 1000–3000 мм производительностью 2000 м/сут.



Только в РФ и странах СНГ производство цветного силикатного кирпича нашло столь широкое распространение. Цветовая гамма изделий в ассортименте продукции заводов диктуется спросом и модными тенденциями. Поэтому и поставщики пигментов для силикатной промышленности имеют возможность пообщаться не только с потенциальными клиентами, но и друг с другом. И.Ю. Емельянова, А.В. Измайлов, НПФ Технохим; К.Г. Кочнев, НПК «Химсвет» (справа).



Активными участниками конференции стали научные сотрудники и преподаватели кафедры строительного материаловедения и дорожных технологий Липецкого государственного технического университета, посетившие мероприятие во главе с заведующей кафедрой, д-ром техн. наук М.А. Гончаровой.



Канд. техн. наук А.Н. Володченко (БГУ им. В.Г. Шухова) считает, что в перспективе для автоклавных силикатных материалов возможна замена песка на глинистые породы незавершенной фазы минералообразования.



Коммерческий директор ООО «Канон» Л.С. Никишов впервые принял участие в работе СИЛИКАТэкса в 2015 г. Его зажигательный рассказ о новых стеновых материалах по технологии ускоренной карбонизации привлек внимание специалистов отрасли. На этот раз доклад коснулся древесно-карбонатных изделий, технология производства которых разработана компанией.



Образец древесно-карбонатного материала, как альтернативы автоклавного газобетона смогли подержать в руках все желающие.



Оборудование компании «Инта-Строй», возглавляемой И.Ф. Шлегелем, широко известны во многих отраслях промышленности строительных материалов. И естественно, что разработка коллег из Крыма привлекла внимание. На конференции Игорь Феликсович рассказал об опыте внедрения стержневых смесителей ШЛ в технологии производства силикатного кирпича на одном из заводов Тамбовской обл.



Упаковка изделий в последние годы стала неперенным атрибутом перехода предприятий на выпуск продукции высокого качества. Конечно, еще остаются потребители, предпочитающие поставку кирпича навалом, но в основном будущее за упакованной продукцией. Генеральный директор ООО «ОМС-Системс» В.В. Юрченко уже много лет занимается поставкой упаковочного оборудования. В выступлении он подчеркнул, что как раз 10 лет назад, в 2007 г., компания OMS (Италия) поставила на Липецкий силикатный завод линию упаковки силикатного кирпича.





*Летопись СИЛИКАТЭкса в фотографиях интересна как постоянным участникам, так и новичкам*



Г.В. Кузнецова, доцент кафедры технологии строительных материалов изделий и конструкций Казанского государственного архитектурно-строительного университета – силикатчик с огромным опытом работы. Впервые в конференции СИЛИКАТЭкс Галина Васильевна приняла участие еще будучи начальником отдела контроля качества и лаборатории ООО «Казанский завод силикатных стеновых материалов» в 2007 г. Выступления Галины Васильевны основываются на богатом опыте (28 лет на силикатном производстве!) и охватывают наиболее проблемные вопросы технологии силикатного кирпича. В этом году тема выступления касалась влияния крупности песка на выбор известкового вяжущего.

Развивая тему смесителей для силикатной промышленности, компания Айрих представила новую разработку – интенсивный смеситель Айрих тип D23 как замену типам DE22 (1500 л) и DEV22 (2250 л). Представление смесителя произошло на выставке Баума 2016 в Мюнхене (Германия) и в настоящее время уже продано 6 штук. Данный тип отличается от модели D22 более высокой скоростью смесительного резервуара, большим диаметром завихрительного инструмента, меньшим диаметром смесительной звезды и наличием всего двух донных лемехов. Смесительная звезда и завихритель типа звезда работают от редукторного двигателя, привод смесительного резервуара работает через зубчатый венец. Защита резервуара и боковая защита в данной модели выполнены из пластика и упрощена очистка стеночного скребка. Второй день конференции был посвящен посещению ООО «Липецкого силикатного завода». История Липецкого силикатного завода напрямую связана с развитием липецкого металлургического комбината, развитие которого потребовало много строительных материалов. Основан завод в 1938 г. В настоящее время на предприятии проведена реконструкция производства, заменено котельное оборудование, внедрено весовое дозирование компонентов, реорганизована маскоподготовка, установлены новые пресса, введена в действие линия цветного кирпича. Генеральный директор завода В.А. Сазонов подробно рассказал о преобразованиях последних лет и пригласил коллег посетить предприятие.





Лучший способ запомнить наиболее интересные технологические решения – фотография или видеосъемка



Генеральный директор ООО «Липецкий силикатный завод» В.А. Сазонов не только выступил с докладом на пленарной части конференции, но и лично приветствовал участников на заводе



Оборудование, которое выпускает ООО «Инвест-Технология» под руководством И.А. Галеева, хорошо зарекомендовало себя на различных предприятиях отрасли. Сейчас компания внедряет новый стандарт промышленной чистоты масла гидравлических прессов VIKING. На Липецком силикатном заводе установлен смеситель IMG



Представители компании Ласко Умформтехник ГмбХ могут гордиться результатом. Прессы работают отлично, кирпич высокого качества с идеальными геометрическими параметрами, интерес участников неподдельный. Слева направо: П. Беннер (инженер по сбыту в Беларуси и Казахстане), П.П. Пирогов (представительство в РФ), Л. Бауэрсакс, генеральный директор, О. Шалькевич (представительство в Беларуси), А.П. Зырина (представительство в РФ)

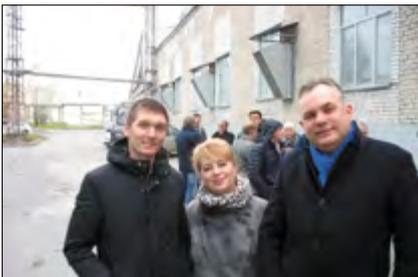


*Посещение завода позволяет познакомиться с новинками, задать вопросы, получить комментарии, обсудить результат*



**СИЛИКАТэкс**  
место встречи  
и неформального  
общения специалистов  
отрасли

Настоящие силикатчики умеют не только отлично работать, но и весело отдыхать. К десятилетию СИЛИКАТэкса компания ВКБ Системс подарила всем участникам роскошный торт в виде кладки из цветного «кирпича»



Р.В. Харьков, И.А. Харькова и А.А. Шкодкин, ЗАО «ТД Марсел» (справа налево) надежные поставщики пигментов для силикатного кирпича. В 2016 г. они стали первыми спонсорами ранней регистрации участников конференции. Благодарим вас, коллеги, за помощь!



Заключительным аккордом конференции стала экскурсия в г. Елец, который славен своими кружевами. Небыстрое ручное плетение кружев потрясает воображение, особенно на контрасте после посещения завода силикатного кирпича: мастера-кружевницы, расположившиеся «классом» за станками-подушками под тихий стук коклюшек, как основного орудия производства, плетут свои шедевры. И даже станки для кружевоплетения довоенного немецкого производства не могут нивелировать контраст.



Редакция отраслевого научно-технического и производственного журнала «Строительные материалы»<sup>®</sup> выражает особую признательность генеральному спонсору конференции – компании Ласко Умформтехник ГмбХ, спонсорам конференции – Машиненфабрик Густав Айрих ГмбХ & Ко КГ и Маза ГмбХ за оказанную поддержку, а также Липецкому заводу силикатных изделий за возможность посещения предприятия.

**До встречи в 2017 году!**

С.Ю. Горегляд

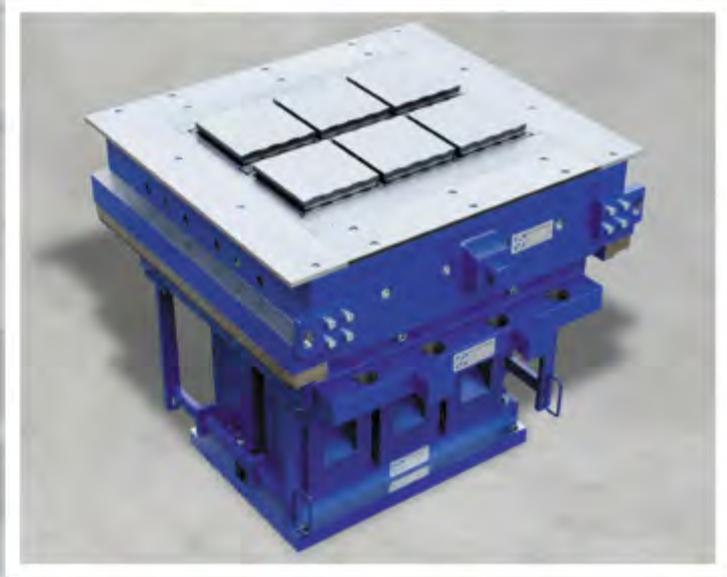
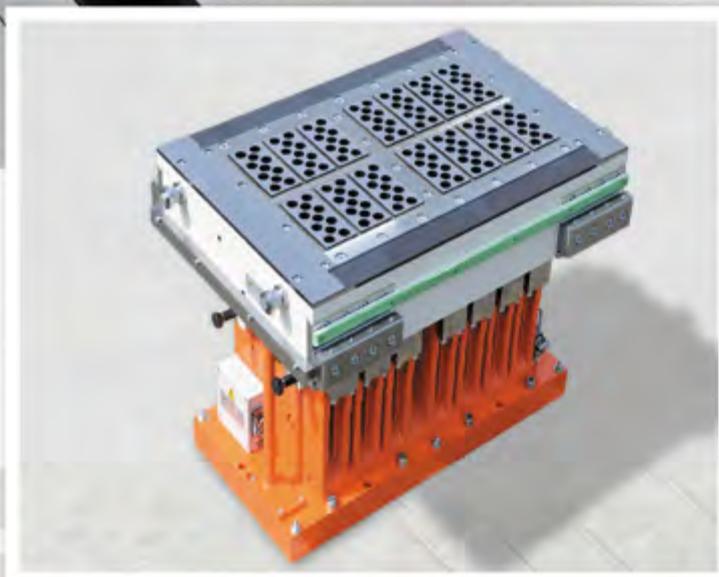


# PRÄZI

PRÄZI GROUP



## > ПРЭТСИ – ВАШ ПАРТНЁР В СФЕРЕ БИЗНЕСА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СИЛИКАТНОГО КИРПИЧА



> [www.praezi.de](http://www.praezi.de)

PRÄZI-FLACHSTAHL AG

Günther-Claas-Straße 1

48351 Everswinkel, Germany

Tel. +49 (0) 25 82 76 - 235

Fax +49 (0) 25 82 76 - 158

E-mail [kalksandstein@praezi.de](mailto:kalksandstein@praezi.de)

> НАДЕЖНЫЙ ПАРТНЕР –  
ГАРАНТИЯ ВАШЕГО УСПЕХА



## Краткая характеристика структуры спроса на силикатные стеновые материалы

Проанализирована структура строительства жилых зданий в РФ по используемым стеновым материалам и тенденции ее изменения. Оценены доли применения силикатных стеновых материалов в многоэтажном (индустриальном) домостроении и индивидуальном жилищном строительстве в разрезе федеральных округов. Приведена информация о средних расстояниях доставки силикатных стеновых материалов и доли их потребления в регионах размещения силикатных заводов.

**Ключевые слова:** силикатные стеновые материалы, жилищное строительство, структура использования стеновых материалов.

A.A. SEMYONOV, Candidate of Sciences (Engineering), General Director (info@gs-expert.ru)  
«GS-Expert», ООО (18, office 207, the 1<sup>st</sup> Tverskoy-Yamskoy Lane, 125047, Moscow, Russian Federation)

### A Brief Characteristic of Demand Pattern for Silicate Wall Materials

The structure of construction of residential buildings in the Russian Federation is analyzed according to wall materials used and the trend towards its change. A share of the use of wall silicate materials in multistory (industrial) house building and individual housing construction among the Federal Districts is evaluated. The information on the average distances of silicate wall materials supply and a share of their consumption in regions of the location of silicate factories is presented.

**Keywords:** silicate wall materials, housing construction, structure of application of wall materials.

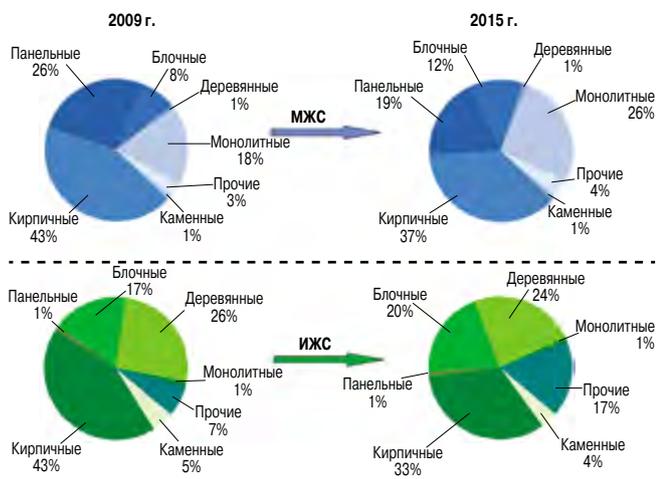
В последние годы в России отмечается стабильное снижение применения кирпича при возведении стен жилых зданий [1–4]. Так, за период с 2009 по 2015 г. в массовом жилищном строительстве (индустриальном домостроении) доля строительства жилых домов с кирпичными стенами снизилась с 43 до 37% (рис. 1), а в сегменте индивидуального жилищного строительства с 43 до 33%. Безусловно, эта тенденция негативным образом отразилась и на спросе на силикатные стеновые материалы (рис. 1).

В настоящее время основной объем силикатного кирпича используется при строительстве многоэтажных жилых зданий. По оценкам «ГС-Эксперт», полученным в результате проведенного в 2016 г. комплексного опроса российских силикатных заводов (ответившие респонденты обеспечивают около 87% производства силикатного кирпича в стране и расположены во всех федеральных округах), в целом по РФ на долю поставок для многоэтажного жилищного строительства приходится около 74% реализации силикатного кирпича; около 18% продукции реализуется для строительства

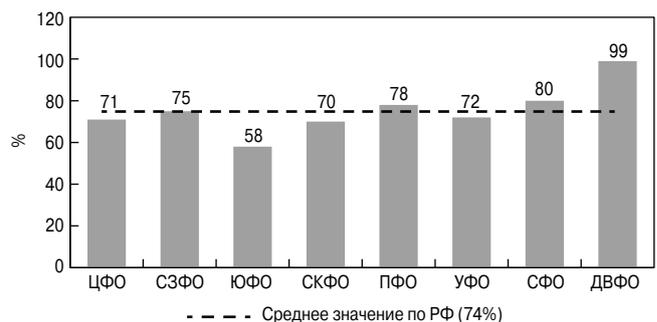
индивидуального жилья, еще около 8% – для прочих целей, включая реализацию через дилеров, когда не представляется возможным определить конечного потребителя. При этом в разных регионах страны структура реализации силикатных стеновых материалов существенно различается. Так, наибольшая доля реализации для многоэтажного жилищного строительства характерна для Дальневосточного федерального округа – 99%, в то время как в Южном федеральном округе этот сегмент потребления занимает в структуре сбыта менее 60% (рис. 2).

Аналогичная ситуация прослеживается и в сегменте индивидуального жилищного строительства: наибольшая доля поставок силикатного кирпича для этого сегмента рынка характерна для Северо-Кавказского, Южного, Центрального и Северо-Западного федеральных округов (рис. 3).

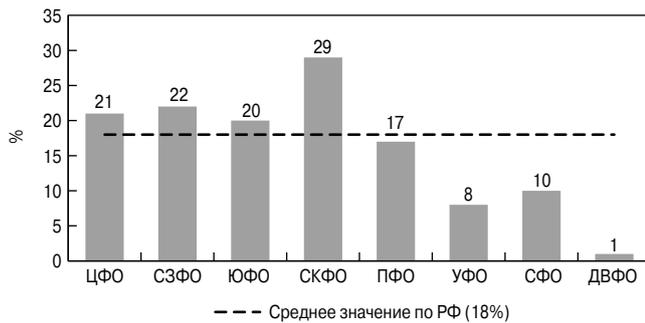
С учетом относительной дешевизны силикатного кирпича по сравнению с другими стеновыми материалами стоимость его доставки до потребителя оказывает существенную роль в формировании конечной цены на эту продукцию. Поэтому большая часть производимого силикатного кирпича, около 72% (среднее значение по РФ), реализуется непосредственно в регионах размещения силикатных заводов, а среднее расстояние доставки кирпича потребителю автотранспортом не превышает 150–170 км. Однако и в этом случае для разных



**Рис. 1.** Структура строительства жилых домов по используемым стеновым материалам в 2009 и 2015 гг.  
Источник: оценка «ГС-Эксперт» на основе данных Росстата



**Рис. 2.** Доли поставок силикатного кирпича для многоэтажного жилищного строительства в разрезе федеральных округов  
Источник: оценка «ГС-Эксперт» на основе данных предприятий



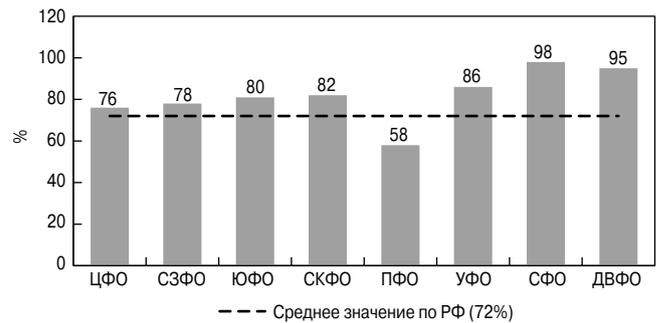
**Рис. 3.** Доли поставок силикатного кирпича для индивидуального жилищного строительства в разрезе федеральных округов  
Источники: оценка «ГС-Эксперт» на основе данных предприятий

регионов страны ситуация существенно различается (рис. 4).

Минимальная доля продукции, реализуемой в регионе размещения силикатного завода, характерна для Приволжского федерального округа – всего порядка 58%, что обусловлено наиболее высоким уровнем конкуренции в регионе из-за значительного числа находящихся здесь заводов. Во всех остальных федеральных округах в регионе размещения завода реализуется не менее 76% отгружаемой потребителям продукции. Абсолютными лидерами по этому показателю являются Сибирский и Дальневосточный федеральные округа – 95–98%.

#### Список литературы

1. Семёнов А.А. Анализ состояния российского рынка силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 4–5.
2. «Социально-экономическое положение России. 2015 год». Федеральная служба государственной статистики, № ИМ-04-1/30-СД. Москва. 09.02.2016.
3. Семёнов А.А. Перспективы развития строительного комплекса и промышленности строительных материалов в 2016 г. // *Строительные материалы*. 2016. № 1–2. С. 4–6.
4. Семёнов А.А. О текущей ситуации в производстве силикатных стеновых материалов в России // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 4–5.



**Рис. 4.** Доли реализации силикатного кирпича в регионе размещения силикатных заводов в разрезе федеральных округов  
Источники: оценка «ГС-Эксперт» на основе данных предприятий

Стоит отметить, что некоторые силикатные заводы имеют возможность отгружать свою продукцию потребителям и железнодорожным транспортом. По данным «ГС-Эксперт», отгрузку силикатного кирпича по железной дороге осуществляют не менее 18 заводов. Однако объемы отгрузки данным видом транспорта в последние годы не превышали 50 млн шт. кирпича в год, что составляет менее 2% от общего объема реализации в целом по стране. При этом отгрузка по железной дороге осуществляется, как правило, в отдаленные регионы. Среднее расстояние доставки силикатного кирпича железнодорожным транспортом в 2015 г. составило около 840 км, а в 2016 г. превысило 1000 км.

#### References

1. Semyonov A.A. The analysis of state of the Russian silicate brick market. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 4–5. (In Russian).
2. «Economic and social Situation of Russia. 2015», Federal State Statistics Service, No. IM-04-1/30-SD, Moscow, 09.02.2016.
3. Semyonov A.A. Prospects of development of construction complex and building materials industry in 2016. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 1–2, pp. 4–6. (In Russian).
4. Semyonov A.A. About current situation in production of silicate wall materials in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 4–5. (In Russian).



### Приглашают принять участие в работе

75-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ  
Секция «Дорожно-строительные материалы»

### ЕЖЕГОДНАЯ НАУЧНАЯ СЕССИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОНА

31 января 2017 г в 10.00 МАДИ, ауд.132.

Приоритетное направление семинара:  
**НОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ДОРОЖНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА**

Заявку на участие в конференции, статью для публикации в сборнике и предложения о выступлении по теме семинара необходимо до 10.01.2017 г. оформить и выслать электронной почтой: kurdenkova@bk.ru (файлы могут быть запакованы архиваторами RAR, ZIP)

#### Оргкомитет:

125319 Москва, Ленинградский проспект, 64.  
Контактный тел./факс: (499) 155-08-60; 155-08-31 Моб. тел.: +7 903 735 8294  
e-mail: kurdenkova@bk.ru, eco46@mail.ru

М.В. КОРНЕВ, заместитель директора по научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе, канд. техн. наук, Т.П. КОРНЕВА, заместитель начальника кирпичного цеха

ООО «Силикатстрой» (606000, Нижегородская обл., г. Дзержинск, пр. Ленина, 111)

## Стойкость силикатных материалов в горячей воде. Результаты исследований производителей силикатных изделий

В ряде нормативных документов определены ограничения на применение силикатного кирпича для кладки наружных стен подвалов зданий, а также стен помещений с мокрым режимом эксплуатации. Силикатные материалы давно и успешно применяют для возведения фундаментов, подвалов и санузлов, прежде всего в малоэтажном домостроении в Германии, Нидерландах, Швейцарии, Австрии. Целью проведенного исследования являлось доказательство достаточной стойкости силикатных материалов в горячей воде и способности длительное время сохранять важнейшие качества (прочность, внешний вид). Установлено, что при кипячении прочность силикатного кирпича несущественно возрастает. При длительном воздействии горячей воды прочностные параметры силикатного кирпича продемонстрировали более сложную зависимость.

**Ключевые слова:** силикатные изделия, прочность при сжатии, долговечность силикатного кирпича, коэффициент стойкости.

M.V. KORNEV, Deputy Director for research and development, Candidate of Sciences (Engineering), T.P. KORNEVA, Deputy Head of Brick Shop  
ООО «Silicatstroy» (111, Lenina Avenue, Dzerzhinsk, Nizhegorodskaya Oblast, 606000 Russian Federation)

### Resistance of Silicate Materials to Hot Water. Results of Researches of Silicate Products Manufacturers

Some normative documents limit the use of silicate brick for masonry of external walls of basements as well as for walls of premises with wet conditions of operation. Silicate materials have been long and successfully used for construction of foundations, cellars, and WC-and-bathroom units, first of all in low-rise housing construction in Germany, the Netherlands, Swiss, and Austria. The aim of the study conducted is a proof of the sufficient durability of silicate materials in hot water and their ability to maintain the most important qualities (strength, exterior view) for a long time. It is established that in the course of boiling, the strength of silicate brick increases insignificantly. Under the long-time hot water impact, strength parameters of silicate brick demonstrate a more complicated dependence.

**Keywords:** silicate products, compression strength, durability of silicate brick, resistance coefficient.

Как известно, в определенных нормативных документах (СП15.13330, СП70.13330) наложены ограничения на применение силикатного кирпича для кладки фундаментов и наружных стен подвалов зданий, а также стен помещений с мокрым режимом эксплуатации. Однако известно, что силикатные материалы достаточно стойки не только в обычной артезианской, но и сильно минерализованной воде [1, 2]. Одним из доводов, ограничивающих область применения силикатных изделий, является разрушающее действие горячей воды при авариях на трубопроводах теплосетей или горячего водоснабжения. Целью проведенного исследования стало доказательство того, что современные силикатные материалы обладают достаточной стойкостью в горячей воде и длительное время способны сохранять важнейшие качества (прочность, внешний вид).



Рис. 1. Выдержка кирпича в кипящей воде

На первом этапе были проведены испытания кирпича в кипящей воде при температуре 100°C (рис. 1) в течение 6, 12, 18 и 24 ч. Для эксперимента был отобран полнотелый кирпич со средним пределом прочности при сжатии 19,53 МПа.

Установлено, что с увеличением времени пребывания в кипящей воде прочность образцов незначительно возрастает (рис. 2). Кирпич не

только не разрушился, но и приобрел дополнительную прочность. Так, после 24 ч прочность образцов увеличилась на 16%.

На втором этапе исследовали длительное воздействие горячей воды. В качестве образцов для исследования был отобран полнотелый утолщенный кирпич со средней плотностью 1800 кг/м<sup>3</sup> (масса изделия 4,75 кг) сформованный на германском прессе двустороннего сжатия фирмы Lasco KSP-801. Средний предел прочности образцов при сжатии 19,18 МПа. Каждый образец предварительно взвешивали на поверенных весах. Образцы помещали в утепленную минеральной ватой емкость из легированной стали, заполненную водопроводной водой (рис. 3).

Уровень жидкости поддерживали выше изделий, периодически добавляя воду из заводского водопровода. Температура поддерживалась с помощью ТЭНа в интервале 69–72°C. Эксперимент продолжался 6 мес. Ежемесячно

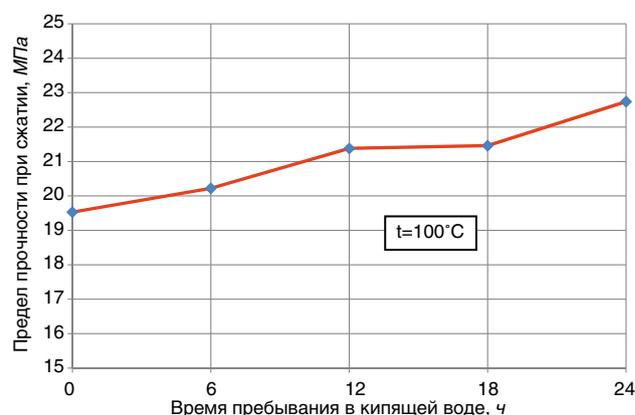


Рис. 2. Зависимость предела прочности при сжатии кирпича от времени пребывания в кипящей воде



Рис. 3. Образцы кирпича в ванне с водой при температуре 69–72°C

проводилось изъятие изделий из ванны и определение предела прочности при сжатии на поверенном испытательном прессе. Половина образцов испытывалась во влажном состоянии, через 5 мин после извлечения из емкости. Вторая половина испытывалась в соответствии с требованиями ГОСТ 8462–85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе», при этом образцы перед испытанием высушивались при комнатной температуре в течение 3 сут. При каждом испытании производилась оценка внешнего вида.

Зависимости предела прочности при сжатии влажных и высушенных образцов представлены на рис. 4. Также определяли коэффициент стойкости (рис. 5) как отношение прочности образцов после нахождения в горячей воде к начальной прочности до испытания  $K_c = R_{\text{конеч}} / R_{\text{начал}}$ .

Установлено, что прочность образцов первые два месяца снижается при испытании во влажном состоянии. Через 4 мес прочность возрастает до начальной и выше. Затем наблюдается падение и стабилизация прочностных показателей. После нахождения в воде первые два месяца высушенные образцы показали иную закономерность. Прочность первый месяц возрастает, далее снижается до начальной и затем незначительно отличается от показателей влажных образцов. После шести месяцев нахождения в горячей воде прочность снизилась на 7,4% (при испытании во влажном состоянии), а высушенные образцы и вовсе не изменили своих характеристик. Еще раз следует отметить, что в соответствии с ГОСТ 8462 прочностные показатели определяются в условиях, отличных от фактических. Пренебрежение влажностью приводит к ошибочным результатам и завышению прочности.

Следует отметить, что при определении предела прочности при сжатии кирпича, подвергнувшегося воздействию горячей воды в течение пяти и шести месяцев, характер разрушения изменился. Кирпич выдерживал нагрузки, близкие к образцам в исходном состоянии, но при это полностью превращался в крошку.

Масса образцов, находившихся в воде, увеличивается. Это увеличение находится в прямой зависимости от времени пребывания. Прирост массы (увеличение плотности), вероятно, связан с присоединением дополнительных молекул воды в кристаллогидратах гидросиликатов кальция, т. е. с увеличением  $n$  в формуле  $Ca_3[Si_6O_{18}H_2] \cdot nH_2O$ .

Коэффициент стойкости кирпича в горячей воде даже после шести месяцев остается высоким 0,93, а после высыхания равен 1. Эти показатели находятся на уровне стойкости силикатных изделий в холодной воде. Весь без

#### Список литературы

1. Корнев М.В., Корнева Т.П. Стойкость силикатных материалов в воде и агрессивных средах // *Строительные материалы*. 2015. № 10. С. 8–9.
2. Черепанов В.И., Некрасова Е.В., Черных Н.А., Панченко Ю.Ф. Водостойкость силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2013. № 9. С. 10–11.

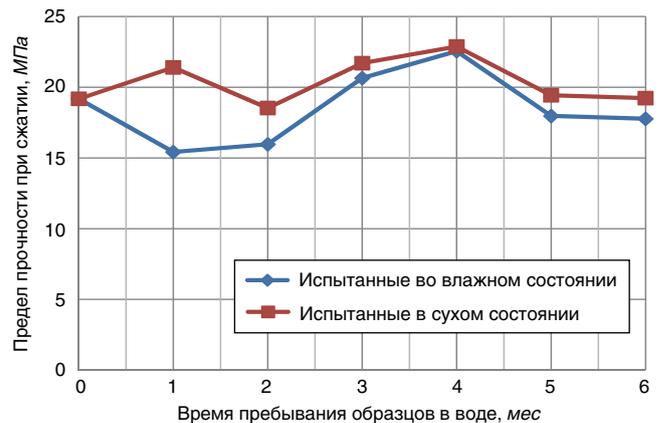


Рис. 4. Зависимость предела прочности при сжатии образцов от времени пребывания в воде

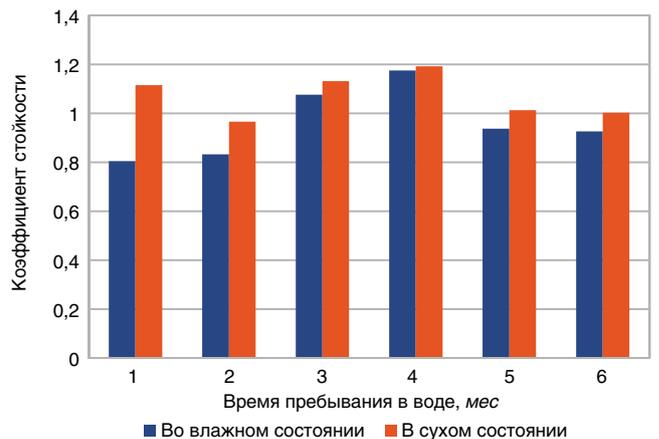


Рис. 5. Коэффициент стойкости образцов

исключения кирпич после воздействия горячей воды по всем показателям соответствует ГОСТ 379–2015. Опасения по поводу разрушающего действия горячей, равно как и кипящей воды абсолютно напрасны.

Силикатные материалы давно и успешно применяются для возведения фундаментов и подвалов, прежде всего в малоэтажном домостроении в Германии, Нидерландах, Швейцарии, Австрии. Рационально использовать в таких конструкциях полнотелые крупноформатные блоки. Кроме быстрого возведения, высокие прочностные характеристик такая кладка обладает меньшим водопоглощением в сравнении с кирпичной за счет меньшей суммарной площади поверхности кладочных элементов. Трудно представить, чтобы в индивидуальном (частном) доме сутками лила вода на техническом этаже. Утечка быстро обнаружится, а если и нет, то с кладкой ничего не случится.

Результаты исследования и анализ имеющихся данных доказывают возможность применения силикатных изделий в подвалах, цоколях и фундаментах зданий, а также санузлах и помещениях с мокрым режимом эксплуатации. Расширение области применения силикатных материалов будет отражено в актуализированной редакции СП 15.13330 «СНиП II-22–81\* Каменные и армокаменные конструкции», которую готовит к выпуску ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

#### References

1. Kornev M.V., Korneva T.P. Resistance of silicate materials in water and aggressive media. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 10, pp. 8–9. (In Russian).
2. Cherepanov V.I., Nekrasova E.V., Chernykh N.A., Panchenko Yu.F. Waterproofness of silicate brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 9, pp. 10–11. (In Russian).

Г.В. КУЗНЕЦОВА, инженер (Kuznetzowa.gal@yandex.ru), Н.Н. МОРОЗОВА, канд. техн. наук  
 Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

## Пигменты и объемное окрашивание

Исследованы объемные способы окрашивания формовочной смеси железистоокисными пигментами при производстве силикатного кирпича. Рассмотрены вопросы окрашивания смеси с гашеной и негашеной известью. На этапе окрашивания фиксировалось время появления цвета смеси и его интенсивность. Установлено, что хорошее окрашивание пигментом светлых тонов достигается при введении пигмента до гашения смеси. Введение пигмента в гашеную смесь требует увеличения интенсивности перемешивания. Адгезия гашеной извести препятствует распределению пигмента по смеси, что приводит к потере цвета изделий. Негашеная смесь, являясь абразивным материалом, способствует распределению пигмента по объему. При окрашивании светлыми пигментами гашеной смеси необходимо увеличивать интенсивность перемешивания. Интенсивное перемешивание приводит к росту прочности. Введение пигментов ярких тонов с большой окрашивающей способностью с целью снижения потерь при переходе цвета рекомендуется в гашеную смесь. Исследованы физико-механические характеристики прессованных образцов при введении пигмента в гашеную и негашеную смеси. Установлено, что увеличение количества пигмента более 2% в гашеной смеси приводит к снижению сырцового и автоклавной прочности прессованного изделия.

**Ключевые слова:** силикатный кирпич, пигменты, гашеная силикатная масса, негашеная силикатная масса.

G.V. KUZNETSOVA, Engineer (Kuznetzowa.gal@yandex.ru), N.N. MOROZOVA, Candidate of Sciences (Engineering)  
 Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

### Pigments and Volumetric Coloring

Volumetric methods for coloring of the molding mix with iron oxide pigments, when manufacturing the silicate brick, have been studied. Issues of the coloring of the mix with slaked lime and quicklime are considered. The time of appearance of the mix color and its intensity was fixed at the stage of coloring. It is established that good coloring of light tones with the pigment is reached at introducing the pigment before the lime slaking. Introduction of the pigment in the slaked mix demands to increase the mixing intensity. Adhesion of the slaked lime impedes the distribution of the pigment in the mix that leads to the loss of products color. Quicklime as an abrasive material contributes to the distribution of the pigment in the volume. When coloring the slaked mix with light pigments, it is necessary to increase the mixing intensity. The intensive mixing leads to the strength growth. The introduction of pigments of bright tones with great coloring ability with the purpose to reduce the losses at color transition is recommended in the slaked lime. Physical-mechanical characteristics of pressed samples as a result of introducing the pigment in the slaked lime and quicklime were studied. It is established that the increase in the quantity of the pigment (over 2%) in the slaked lime leads to reducing the raw and autoclaved strength of pressed products.

**Keywords:** silicate brick, pigments, slaked silicate mass, unslaked silicate mass.

При производстве цветного силикатного кирпича существует ряд особенностей, связанных с ослаблением интенсивности цвета после автоклавной обработки [1]. В последние годы многими заводами сделан значительный шаг в области повышения качества кирпича, в основном за счет внедрения в технологию гидравлических прессов. Но достаточно ли одних прессов? Как показали опыт и время, нужны еще знания технологии. Самыми распространенными вопросами технологии цветного кирпича являются: как оптимально окрашивать массу, какие пигменты наиболее эффективны, на каком этапе вводить пигменты и надо ли регулировать автоклавную обработку.

Объемное окрашивание можно выполнять как до гашения, так и после гашения известково-песчаной смеси. Практически же на заводах окрашивание смеси осуществляется путем введения пигмента в гашеную смесь, состав которой у каждого производителя сегодня свой [2].

Как известно, пигменты производят в виде сухого порошка, густой пасты и жидкой суспензии [3]. На предприятиях наиболее прочно прижилась технология с использованием железистоокисного порошкового пигмента [4]. Первые заводы, освоившие технологию объемного окрашивания силикатного кирпича, вводили пигмент с водой при приготовлении смеси до гашения. В настоящее время предприятия используют сухие порошки. Известно, что оптимальная формовочная влажность цветной смеси не должна превышать 4–5%, а известь должна обеспечить получение изделий оптимальной сырцовогой прочности [1].

Возникает вопрос: на каком этапе производства эффективнее вводить пигменты? Предлагаемые результаты исследования ставили задачу решения этой проблемы.

Проведенный дисперсный анализ пигментов и составляющих известково-кремнеземистого вяжущего выявил следующие результаты (см. таблицу).

Можно предположить, что пигмент как более мелкий материал заполняет пустоты в известково-кремнеземистом вяжущем, тем самым окрашивая его. Молотый



**Рис. 1.** Сырец цветного кирпича желтого и красного цвета при увеличении в 100 раз

#### Распределение частиц по диаметру зерен в дисперсной системе

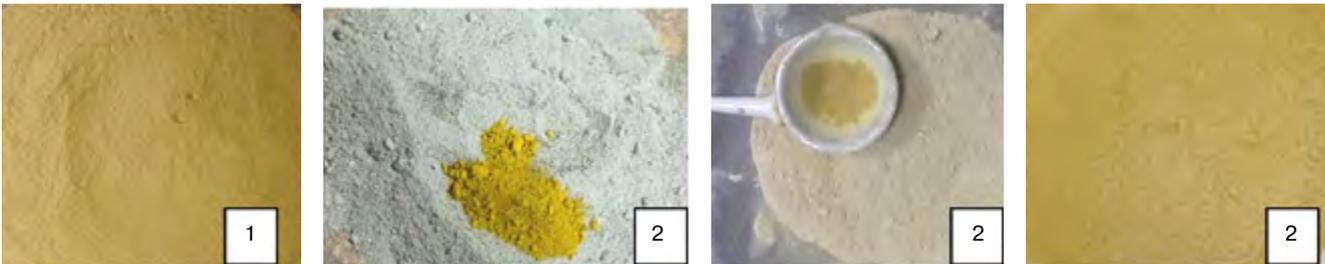
Дисперсный материал	Диаметр зерна, мкм
Пигмент железистоокисный красный	0,2–3
Пигмент железистоокисный коричневый	0,3–5
Пигмент железистоокисный черный	0,2–1,3
Зеленый (окись хрома)	0,3–7
Пигмент железистоокисный желтый	0,5–1,3
Известково-кремнеземистое вяжущее	5–50
Молотый песок в составе вяжущего	2–50



**Рис. 2.** Изменение цвета негашеной формовочной смеси при вводе желтого пигмента



**Рис. 3.** Изменение цвета гашеной формовочной смеси при перемешивании лопаточкой с желтым пигментом в течение 3 мин с фиксацией результата через 1 мин



**Рис. 4.** Окрашивание формовочных смесей при интенсивном растирании с желтым пигментом при приготовлении на негашеной (1) и гашеной (2) смесях



**Рис. 5.** Изменение цвета гашеной формовочной смеси при вводе красного пигмента

песок в составе известково-кремнеземистого вяжущего представлен размером 2–50 мкм, что больше размеров пигмента. Содержание зерен размером 2–10 мкм в песке составляет 10%. Поэтому зерна пигментов расположатся в пустотах между молотым песком и известью. Эти два материала дополняют друг друга [2].

Фотографии прессованных образцов под микроскопом с увеличением в 100 раз подтверждают это (рис. 1). Можно видеть, что окрашиванию подвергается тесто из вяжущего и воды, которое при прессовании распределяется в пустотах между каркасообразующими зёрнами песка.

Для определения наиболее эффективного способа введения пигментов проведено несколько видов испытаний. В первом случае одинаковое количество порошкообразного пигмента вводилось в смесь на стадии сухого перемешивания. Затем добавлялась вода и происходило гашение смеси.

Во втором случае пигмент вводился в предварительно приготовленную гашеную смесь того же состава.

В лабораторных условиях смесь тщательно перемешивалась лопаточкой до появления устойчивого цвета. Через каждую минуту перемешивания смесь фотографировали. Изменение цвета представлено на рис. 2.

Как можно отметить, изменение цвета сухой смеси из вяжущего и песка происходит уже на второй минуте и становится однородным после трехминутного перемешивания. Среда перемешивания – это абразивный материал (песок), который распределяет пигмент.

Введение пигмента в гашеную смесь представлено на рис. 3.

Изменение цвета практически не происходит даже после трехминутного перемешивания лопаточкой. Распределение пигмента вручную в известково-песчаной гашеной смеси происходит с трудом, однако пигмент полностью проявляет свою красящую способность при интенсивном растирании (рис. 4).

Сравнение формовочной смеси с одинаковым количеством пигмента, введенного на разных стадиях ее



Рис. 6. Изменение цвета гашеной формовочной смеси после интенсивного растирания



Рис. 7. Образование шарообразных пигментных конгломератов в гашеной смеси

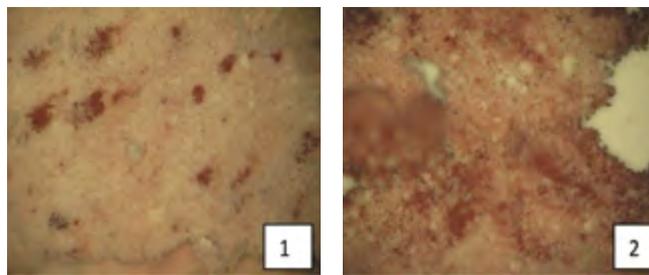


Рис. 8. Пигмент, помещенный в негашеную формовочную смесь (1), и после 10 с перемешивания (2)

приготовления, показало, что наиболее интенсивный цвет получен для смеси, окрашенной до гашения. Желтый пигмент практически не проявляет окраску в гашеной смеси при простом перемешивании.

Для сравнения проведено окрашивание гашеной смеси красным пигментом с более высокой красящей способностью. Красный цвет смеси стал проявляться на второй минуте перемешивания лопаточкой (рис. 5).

При интенсивном перемешивании-перетирании проявление цвета происходит быстрее и смесь приобретает более яркий цвет. Таким образом, более яркий пигмент позволяет окрасить смесь в любом случае, но полное использование красящей способности пигмента происходит при интенсивном растирании смеси (рис. 6).

В технологии силикатного кирпича пигменты в виде сухого порошка вводятся в гашеную смесь, влажность которой составляет 4–5%. Пигмент, помещенный в негашеную известь, как более дисперсный материал, находится в конгломератном виде шарообразной формы в зернистой среде. Конгломераты быстро разрушаются при перемешивании зернистой смеси.

Однако картина меняется при загрузке пигмента в гашеную смесь (рис. 7). Известь пушонка, как более влажный компонент, налипает на пигмент. Пигмент, влажность которого не превышает 1%, скручивается в шарообразные формы и образует конгломератную систему.

Смесь с помещенным в нее пигментом, перемешанная в течение 10 с, была рассмотрена при увеличении в 100 раз под микроскопом (рис. 8, 9).

Для окрашивания гашеной смеси необходимо удалить налипшую известь с пигмента и затем распределить его в смеси.

По данным [4], удобоформуемость смесей для прессования изделий можно определять косвенным путем. Так, например, смеси определенного состава формируют при одинаковом удельном давлении и немедленно определяют сырьевую прочность. В настоящих исследованиях образцы формовали в виде цилиндров диаметром и высотой 60 мм и усилием прессования 20 МПа. Равное количество засыпалось в форму для прессования конструкции НИПСИликатобетон. Спрессованный образец измерялся по высоте с точностью до 1 мм. Если высота образца была меньше или больше, корректировалось количество смеси. Косвенно можно по высоте

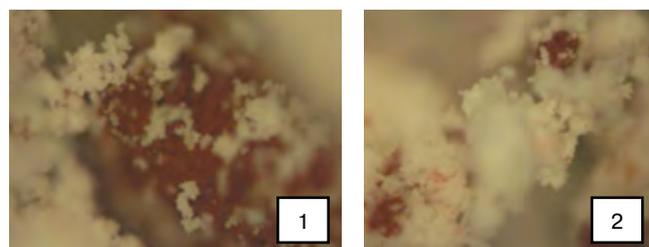


Рис. 9. Красный пигмент в гашеной извести (1) и с налипшими частицами извести (2)

прессованного образца судить об удобоформуемости при равной плотности образцов.

Ранее отмечалось [2], что ввод пигментов в смесь влияет на ее активность, снижает влажность смеси, так как вводится сухой порошок и увеличивается высота прессованных образцов. Увеличение количества пигментов до гашения более 2% приводит к снижению удобоформуемости. Доувлажнение смеси улучшает прессование изделий.

Для сравнения физико-механических характеристик были приготовлены смеси с пигментом в количестве 1, 3 и 5%, введенными на стадиях до гашения и в гашеную смесь. Из полученных смесей приготовлены прессованные образцы. Результаты представлены на рис. 10.

Как видно из результатов, сами пигменты как дисперсный материал при вводе в состав смеси влияют на сырьевую прочность, а интенсивность растирания пигмента, необходимая для равномерности его распределения, равнозначна активации смеси и повышает сырьевую прочность. Цветные смеси с вводом пигмента до и после гашения подвергли активации на стадии вторичного перемешивания и определили автоклавную прочность (рис. 11).

Интенсивность обработки или активация смеси способствует увеличению прочности прессованных образцов при любых способах окрашивания формовочной смеси. Введение пигмента в смесь до гашения, как смесь сбалансированного состава по извести, показала лучшие результаты. Введение пигмента в смесь после гашения, как смесь с уменьшающимся количеством извести, показала снижение прочности.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

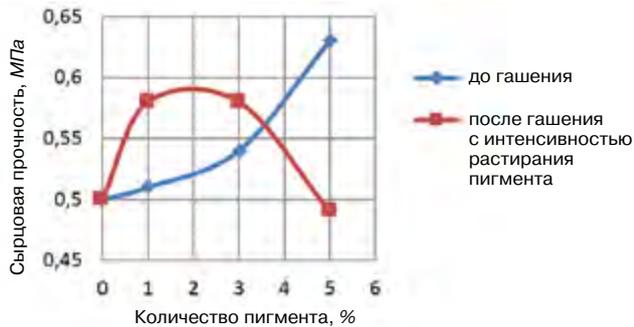


Рис. 10. Влияние способа ввода пигмента на сырьевую прочность

– увеличение интенсивности цвета при одинаковом количестве пигмента происходит быстрее при вводе пигмента в смесь до гашения;

– гашеная известь препятствует распределению мелкодисперсного пигмента в смеси, и скорость нарастания интенсивности окраски при введении пигмента в гашеную смесь медленнее, чем у смеси до гашения;

– пигменты светлых тонов интенсивнее и быстрее окрашивают смесь при введении на стадии сухого перемешивания до гашения смеси;

#### Список литературы

1. Кузнецова Г.В., Санникова В.И. Влияние условий тепловлажностной обработки на качество цветного силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2010. № 9. С. 36–38.
2. Кузнецова Г.В., Хозин В.Г. Влияние пигментов на свойства силикатной формовочной смеси при окрашивании гашеной смеси // *Строительные материалы*. 2012. № 9. С. 25–28.
3. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. М.: ЭКОЛИТ. 2011. 384 с.
4. Кузнецова Г.В., Нугманов Р.М. Роль технологических факторов в формировании цвета силикатного цветного кирпича // *Строительные материалы*. 2014. № 9. С. 37–41.

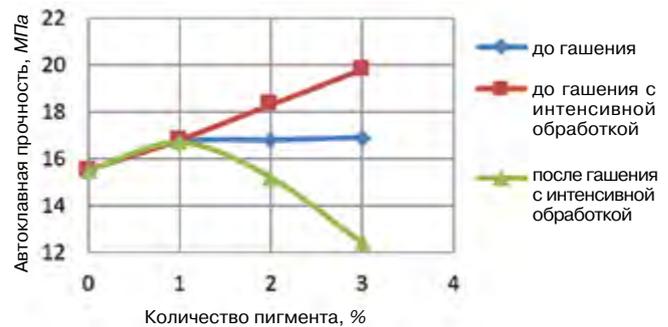


Рис. 11. Изменение автоклавной прочности прессованных образцов

– способ введения пигмента до гашения рекомендуется для пигментов светлых тонов;

– введение пигментов ярких тонов с целью снижения потерь при переходе цвета рекомендуется вводить на стадии вторичного перемешивания в гашеную смесь с интенсивным растиранием;

– интенсивность растирания специальными смесителями увеличивает равномерность распределения пигмента, сокращает его расход и приводит к росту прочности изделий.

#### References

1. Kuznetsova G.V., Sannikova V.I. Influence of hydrothermal treatment on quality of colored silicate brick. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 9, pp. 36–39. (In Russian).
2. Kuznetsova G.V., Khozin V.G. Influence of pigments on properties of slaked silicate moulding mix. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 9, pp. 25–28. (In Russian).
3. Khavkin L.M. *Tekhnologiya silikatnogo kirpicha* [Technology of a silicate brick]. Moscow: EKOLIT. 2011. 384 p.
4. Kuznetsova G.V., Nugmanov R.M. Role of technological factors in formation of colour of silicate coloured brick. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 9, pp. 37–41. (In Russian).



## Институт строительных материалов им. Ф.А. Фингера (FIB) Университета Bauhaus-Universität г. Веймар (Германия) организует III Веймарскую гипсовую конференцию Гипс в строительстве, и не только



Гипсовая конференция проводится в Веймаре в третий раз и за это время стала площадкой для широкого научного обмена идеями в области вяжущих на основе сульфата кальция и их применения учеными и инженерами стран востока и запада

г. Веймар (Германия)

14–15 марта 2017 г.

#### Основные темы конференции:

- Вяжущие вещества на основе сульфата кальция
- Вяжущие вещества, содержащие сульфат кальция
- Гидратация и переработка
- Добавки и их эффект
- Стройматериалы и изделия на основе сульфата кальция
- Другие виды применения сульфата кальция
- Сульфаты кальция и сохранение исторического наследия
- Изделия на основе сульфата кальция и их безотказное длительное использование

В рамках конференции будет проходить специализированная выставка.

Планируется синхронный перевод: немецкий, английский, русский.

[ibausil@uni-weimar.de](mailto:ibausil@uni-weimar.de) [ibausil@uni-weimar.de](mailto:ibausil@uni-weimar.de) [ibausil@uni-weimar.de](mailto:ibausil@uni-weimar.de)

О.И. ПОНОМАРЕВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (1701088@mail.ru), А.М. ГОРБУНОВ<sup>1</sup>, инженер,  
О.С. ЧИГРИНА<sup>1</sup>, инженер, М.А. МУХИН<sup>1</sup>, инженер, А.В. ПЕСТРИЦКИЙ<sup>1</sup>, канд. техн. наук;  
В.В. КОЗЛОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук; М.В. КОРНЕВ<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. А.В. Кучеренко Акционерного общества «Научно-исследовательский центр «Строительство» (ЦНИИСК им. А.В. Кучеренко АО «НИЦ «НСтроительство») (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

<sup>3</sup> НП «Ассоциация производителей силикатных изделий» (606000, Нижегородская обл., г. Дзержинск, пр-т Ленина, 111)

## О разработке методического пособия по проектированию несущих и ограждающих конструкций из изделий на основе модифицированного силикатобетона

Обоснована необходимость выпуска методического пособия по проектированию «Несущие и ограждающие конструкции зданий с применением кладочных изделий на основе модифицированного силикатобетона, в том числе из крупных блоков с пазогребневым соединением», подготовленного в развитие свода правил СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции». Изложены основные положения документа, приведен краткий перечень дополнений к действующему СП, которые включены в методическое пособие. В пособии использован новый подход к оценке морозостойкости кладочных материалов наружных стен из модифицированного силикатного бетона; обосновано расширение области применения изделий из модифицированного силикатного бетона, в том числе в фундаментах и в помещениях с мокрым и влажным режимами эксплуатации. В состав документа включены данные о прочностных характеристиках кладки из силикатных изделий на клеевых растворах, методика расчета тонких ненесущих стен на горизонтальную нагрузку из плоскости, данные о пределах огнестойкости стен из кладочных стеновых изделий на основе модифицированного силикатобетона, а также основные характеристики, необходимые для расчета температурных полей для типовых решений стыковых соединений ограждающих конструкций с учетом теплопроводных включений.

**Ключевые слова:** каменные и армокаменные конструкции, крупные блоки из модифицированного силикатобетона, пазогребневое соединение.

O.I. PONOMAREV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (1701088@mail.ru), A.M. GORBUNOV<sup>1</sup>, Engineer,  
O.S. CHIGRINA<sup>1</sup>, M.A. MUKHIN<sup>1</sup>, Engineer, A.V. PESTRITSKY<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering);  
V.V. KOZLOV<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); M.V. KORNEV<sup>3</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> Research Institute of Building Construction named after A.V. Koucherenko (TSNIISK named after A.V. Koucherenko) (6, 2<sup>nd</sup> Institutskaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

<sup>2</sup> Scientific-Research Institutes of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (21, Lokomotivny Proezd, 127238, Moscow, Russian Federation)

<sup>3</sup> NP «Association of Manufacturers of Silicate Products» (111, Lenin Avenue, Dzerzhinsk, Nizhegorodskaya Oblast 606000, Russian Federation)

### About Development of Guidance Manual for Design of Bearing and Enclosing Structures with the Use Products on the Basis of Modified Silicate Concrete

The need for release of the guidance manual for design "Bearing and Enclosing Structures of Buildings with the Use of Masonry Products on the Basis of Modified Silicate Concrete Including Large Blocks with a Tongue-and-Groove Connection" prepared in the development of the code specification SP 15.13330.2012 "Stone and Reinforced Masonry Structures" is substantiated. The main provisions of the document are outlined; a short list of additions to the current SP, which are included in the guidance manual, is presented. In the manual, a new approach to assessing the frost resistance of masonry materials of external walls made of modified silicate concrete is used; the expansion of the field of application of products made of modified silicate concrete including foundations and premises with wet and damp conditions of operation is substantiated. The document includes the data on strength characteristics of the masonry of silicate products on adhesive solutions, methods for calculating thin non-bearing walls for horizontal load from the plane, data on the limits of fire resistance of walls made of masonry wall products on the basis of modified silicate concrete as well as main characteristics required for calculating temperature fields for standard decision of butt joints of enclosing structures with due regard for heat-conducting inclusions.

**Keywords:** stone and reinforced masonry structures, large blocks of modified silicate brick, tongue-and-groove connection.

Специалистами ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, Научно-исследовательского института строительной физики РААСН, Ассоциации производителей силикатных изделий (НП АПСИ) и других институтов по результатам теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в РФ и за рубежом, подготовлена первая редакция методического пособия по проектированию несущих и ограждающих конструкций зданий с применением кладочных изделий на основе модифицированного силикатобетона, в том числе из крупных блоков с пазогребневым соединением.

Необходимость выпуска данного документа обусловлена наличием существенных изменений, произо-

шедших в строительном комплексе за последние годы [1]. Качественно изменилась база стройиндустрии, построены новые и реконструированы существующие заводы, на которых введены в эксплуатацию технологические линии, оснащенные отечественным и импортным оборудованием по производству кладочных стеновых изделий нового поколения из силикатного бетона. На этих линиях установлено современное оборудование, внедрен контроль технологических процессов на различных этапах производства, используются более мощные прессы и автоклавы высокой плотности давления, что обеспечивает максимальную плотность упаковки составляющих частиц (зерен песка, извести) и

почти полное отсутствие непогасившихся зерен извести на выходе.

В связи с этим выпускаемая продукция существенно отличается по своим характеристикам от изделий, которые производились ранее, и обладает высоким качеством — стабильностью в части прочностных характеристик, геометрических размеров и физико-механических свойств. При высокой плотности (более  $1800 \text{ кг/м}^3$ ) кладочные стеновые изделия нового поколения характеризуются повышенными физико-механическими характеристиками: маркой по прочности блоков до М250—М300, маркой по морозостойкости до F100 [2—4].

В целях выделения на рынке строительных материалов силикатных кладочных изделий нового поколения, обладающих высокой прочностью и морозостойкостью, в пособии вводится термин «изделия из модифицированного силикатобетона».

В методическом пособии отмечается, что в действующих нормативных документах сохранились ограничения на применение силикатных изделий. Эти требования распространяются и на изделия, изготовленные на современных технологических линиях. Данные ограничения были включены в нормы в середине прошлого века в связи с относительно низким качеством выпускаемой тогда продукции [5]. Вместе с тем физико-механические характеристики кладочных стеновых силикатных изделий, изготавливаемых в настоящее время из материала повышенного качества нового поколения — модифицированного силикатобетона, позволяют существенно расширить область их применения. Многими специалистами, в том числе за рубежом, неоднократно поднимался вопрос о применении кладочных силикатных изделий в фундаментах зданий и помещениях с мокрым режимом эксплуатации [1]. Данное методическое пособие позволит учесть особенности изделий нового поколения из модифицированного силикатобетона и расширить область применения силикатных кладочных изделий.

При подготовке пособия были адаптированы и по возможности согласованы подходы и методики, принятые в российских и зарубежных нормах, в первую очередь в Еврокоде. При этом считалось необходимым оставаться в рамках привычных для российских проектировщиков требований к материалам, изделиям и конструкциям. В разделы пособия включен ряд положений, гармонизированных с европейскими нормами EN-1996 часть 1—1 и 1—2 «Каменные конструкции» [6, 7].

В состав методического пособия включены следующие разделы:

- материалы, применяемые для возведения конструкций из модифицированных силикатных бетонов;
- физико-механические свойства кладки, возводимой с применением кладочных изделий из модифицированных силикатных бетонов, в том числе с пазогребневым соединением вертикальных швов;
- расчет по первой группе предельных состояний конструкций, возводимых из кладочных изделий, выполненных из модифицированных силикатных бетонов;
- расчет по второй группе предельных состояний конструкций, возводимых из кладочных изделий, выполненных из модифицированных силикатных бетонов;
- конструктивные требования к элементам каменных конструкций, возводимых с применением кладочных изделий, выполненных из модифицированных силикатных бетонов;
- расчет на ветровые нагрузки конструкций тонких несущих стен, возведенных с применением кладочных изделий, выполненных из модифицированных силикатных бетонов;

— требования к огнестойкости стен, возведенных с применением кладочных изделий, выполненных из модифицированных силикатных бетонов;

— теплотехнические требования к ограждающим конструкциям стен, возведенных с применением кладочных изделий, выполненных из модифицированных силикатных бетонов;

— защита от шума.

Среди наиболее важных особенностей документа необходимо отметить следующее:

1. В пособии приведена таблица требуемых марок по морозостойкости каменных материалов наружных стен зданий и сооружений. При составлении таблицы был использован новый подход к оценке температурно-влажностного режима конструкции стены, в соответствии с которым величина требуемой морозостойкости кладки зависит не только от влажностного режима примыкающих внутренних помещений здания, но и от влажности наружного воздуха.

2. Расширена область применения изделий из модифицированного силикатного бетона в конструкциях фундаментов и в помещениях с мокрым и влажным режимом эксплуатации. Впервые в отечественных нормативных документах присутствует запись о возможности применения изделий из силикатного бетона в фундаментах зданий и сооружений. В дополнение к изменению № 2 к СП 15.13330 «Каменные и армокаменные конструкции» в методическом пособии указано, что использование кладочных стеновых изделий из модифицированного силикатобетона допускается в конструкциях фундаментов и стен подвалов зданий при условии выполнения ряда ограничений, в том числе:

— в кладке наружных и внутренних стен подвалов, цоколей и фундаментов допускается применение силикатного кирпича и блоков пустотностью до 25% для зданий до трех этажей включительно, а при отсутствии грунтовых вод для шестизэтажных зданий без подвалов и технических этажей;

— морозостойкость кирпича и блоков для цоколей и фундаментов наружных стен должна быть не менее F100, а при наличии теплоизоляционного слоя не менее F35, прочность не ниже 20 МПа;

— наличия горизонтальной и вертикальной оклеечной гидроизоляции фундаментов и цоколей (не менее двух слоев);

— заполнения раствором вертикальных швов кладки;

— отсутствия кислотных и агрессивных сульфатосодержащих грунтовых вод;

— выполнения кладки фундаментов на тяжелых растворах марки М100 и выше.

Расширена область применения кладочных стеновых изделий в помещениях с мокрым и влажным режимами эксплуатации. В пособии указано, что применение силикатных кирпича, блоков и плит перегородочных в санузлах, душевых, ванных комнатах допускается при условии наличия вертикальной гидроизоляции или облицовки внутренней поверхности стен плиткой.

Допускается использование силикатных изделий из модифицированного силикатного бетона в кладке конструкций, выступающих выше уровня покрытия (помещения лифтов и выходов на кровлю, вентиляционные трубы), и конструкций в зонах перепада высот разноэтажных секций при условии выполнения гидроизоляции данных конструкций на высоту снежного покрова.

3. По результатам проведенных в институте экспериментальных исследований даны расчетные прочностные характеристики кладки из силикатных изделий с соединением паз-гребень без заполнения вертикальных швов раствором;

4. При изложении методики расчета конструкций наружных несущих стен на ветровые нагрузки учтена

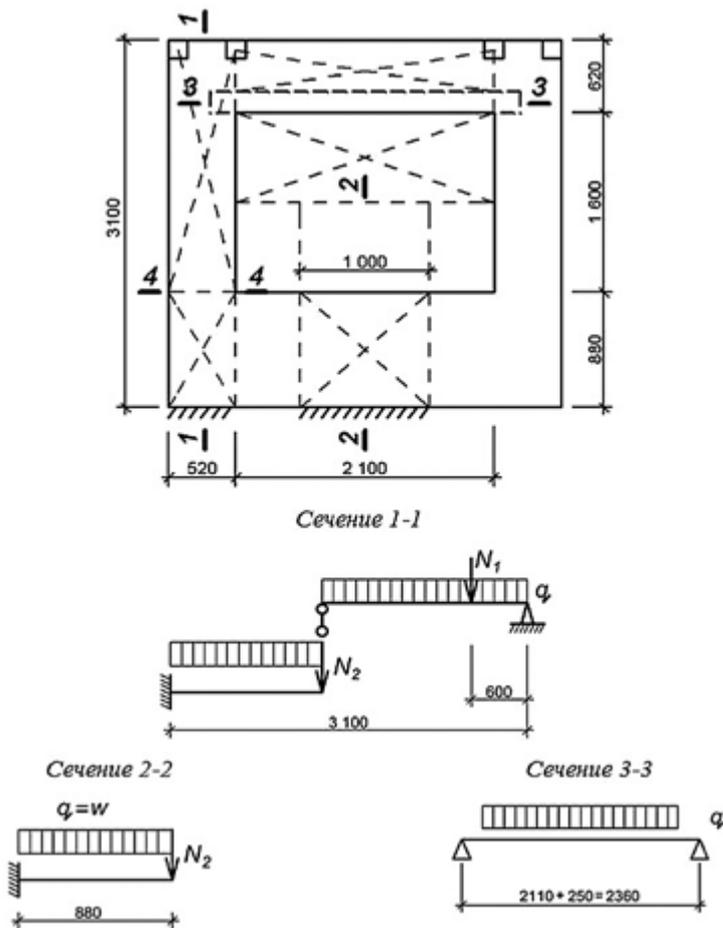


Рис. 1. Расчетная схема участка наружной стены с проемом

необходимость уменьшения влияния пульсационной составляющей нагрузки. Для этого нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки принято с понижающим коэффициентом.

5. Приведены основные положения и примеры расчета несущих многослойных стен на горизонтальную нагрузку, действующую из плоскости стены. При расчете стен без проемов ограждающая конструкция рассматривается как пластина, работающая в двух направлениях. При расчете стен с проемами ограждающие конструкции условно представляются в виде системы взаимосвязанных балок, воспринимающих нагрузку со всей площади стены и передающих ее на опоры (рис. 1).

Фактическое напряжение в сечении балок как в пролете, так и на опоре не должно превышать значений прочности кладки на растяжение при изгибе:

$$R = M/W \leq R_{tb},$$

где  $R$  – прочность кладки на растяжение при изгибе;  $M$  – действующий на стену изгибающий момент;  $W$  – момент сопротивления расчетного сечения кладки;  $R_{tb}$  – прочность кладки на растяжение при изгибе.

6. В методическом пособии приведены значения пределов огнестойкости конструкций стен, перегородок и колонн, возводимых с применением кладочных стеновых изделий из модифицированного силикатобетона с пустотностью до 29% в зависимости от плотности и прочности стеновых изделий, толщины, пустотности, значений действующих нагрузок и эксцентриситета их приложения, вида и механических характеристик растворов для кладки, наличия или отсутствия защитной отделки (штукатурки).



Рис. 2. Фрагмент стены из кладочных изделий на основе модифицированного силикатобетона после проведения испытания на огнестойкость

Несущие конструкции, выполненные кладкой из кирпича, камня, блоков и перегородочных плит, изготовленных из модифицированного силикатобетона, должны быть запроектированы и возведены таким образом, чтобы они сохраняли несущую способность в течение соответствующей продолжительности воздействия пожара.

В табл. В.1 – В.5 пособия приведены минимальные толщины несущих и несущих ограждающих и неограждающих стен, возводимых кладкой из силикатного кирпича и камня. Данные значения получены с учетом результатов испытаний на огнестойкость, проведенных на натуральных образцах в лаборатории пожарной безопасности ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. На рис. 2 представлен фрагмент кладки после проведения испытания.

7. В приложении к методическому пособию приведены основные характеристики, необходимые для расчета температурных полей для типовых решений стыковых соединений ограждающих конструкций с учетом теплопроводных включений (линейных и точечных теплопроводностей).

В отличие от СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» в данном методическом пособии приведены коэффициенты удельных теплотерь в стыковых соединениях без применения эффективного утеплителя для более высоких коэффициентов теплопроводности блоков ( $\lambda_{кам} = 0,6 - 1,06 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$ ) [8].

Приводится пример расчета приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции из силикатных блоков, изготавливаемого из модифицированного силикатобетона. Результаты расчета показывают, что применение кладки стен из силикатобетона без использования дополнительного утепления возможно для южных районов РФ или для возведения производственных зданий, не требующих повышенной теплозащиты наружных стен.

Предложения по подготовке 2-й редакции методического пособия отправлять в адрес института: 109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6 или на электронный адрес: 1701088@mail.ru.

## Список литературы

1. Сомов Н.В. Проблемы развития российской силикатной промышленности // *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 48–49.
2. Деркач В.Н., Демчук О.Г. Несущая способность при сжатии каменных стен из крупноформатных силикатных блоков // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 26–30.
3. Деркач В.Н., Найчук А.Я. Экспериментальные исследования прочности каменной кладки из пазогребневых силикатных блоков // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 6. С. 77–82.
4. Корнев М.В., Корнева Т.П. Стойкость силикатных материалов в воде и агрессивных средах // *Строительные материалы*. 2015. № 10. С. 8–9.
5. СП 15.13330.2012 «Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81\*». М.: ФАУ «ФЦС». 2012. 74 с.
6. Eurocode 6. Design of masonry structures. Part 1–1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. EN 1996-1-1:2005. The European committee for standardization. 2005. 123 p.
7. Eurocode 6. Design of masonry structures. Part 1–2: General rules – Structural fire design. EN 1996-1-2:2005. The European committee for standardization. 2005. 83 p.
8. СП 230.1325800.2015 «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей». М.: ФАУ «ФЦС». 2015. 93 с.

## References

1. Somov N.V. Problems of development of russian silicate industry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 3, pp. 48–49. (In Russian).
2. Derkach V.N., Demchuk O.G. Bearing capacity of masonry walls made of large-size silicate blocks under compression. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 26–30. (In Russian).
3. Derkach V.N., Naychuk A.Ya. Pilot studies of durability of a stone laying from tongue-and-groove silicate blocks. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 6, pp. 77–82. (In Russian).
4. Kornev M.V., Korneva T.P. Resistance of silicate materials in water and aggressive media. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 10, pp. 8–9. (In Russian).
5. SP 15.13330.2012 «Masonry and reinforced masonry structures. The updated edition of SNiP II-22-81\*». Moscow: FAU «FTsS». 2012. 74 p.
6. Eurocode 6. Design of masonry structures. Part 1–1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. EN 1996-1-1:2005. The European committee for standardization. 2005. 123 p.
7. Eurocode 6. Design of masonry structures. Part 1–2: General rules – Structural fire design. EN 1996-1-2:2005. The European committee for standardization. 2005. 83 p.
8. SP 230.1325800.2015 «Construction enclosing of buildings characteristics of thermal conductive of inclusions». Moscow: FAU «FTsS». 2015. 93 p.

ufi Approved Event

XXII МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА  
**ВОЛГАСТРОИЭКСПО**  
**25-28**  
**АПРЕЛЯ**  
**2017**  
**КАЗАНЬ**

Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8,  
 Выставочный центр "Казанская ярмарка"  
 тел./факс: (843) 570-51-07, 570-51-11 (круглосуточный)  
 e-mail: d4@expokazan.ru  
 www.volgastroeyexpo.ru, www.expokazan.ru

12+

УДК 691.5

В.С. ЛЕСОВИК<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Л.Х. ЗАГОРОДНЮК<sup>1</sup>, д-р техн. наук (lhz47@mail.ru);  
А.А. КУПРИНА<sup>2</sup>, канд. техн. наук, руководитель испытательной лаборатории (anna-121989@mail.ru);  
М.Ю. ЕЛИСТРАТКИН<sup>1</sup>, канд. техн. наук, А.Н. ВОЛОДЧЕНКО<sup>1</sup>, канд. техн. наук

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

<sup>2</sup> ООО «ВНИИСТРОМ-НВ» (140050, Московская обл., Люберецкий р-н, п. Красково, ул. К. Маркса, 117)

## Эффективные кладочные растворы для автоклавных стеновых материалов

С учетом использования закона сродства структур разработаны эффективные кладочные растворы для автоклавных стеновых материалов на основе композиционных вяжущих, полученных помолотом цемента и различных минеральных наполнителей – газосиликата, силикатного кирпича и кварцевого песка в вибрационной мельнице. Проведены комплексные исследования камней на основе синтезированных композиционных вяжущих на различных основаниях – керамического кирпича, силикатного кирпича, цементного бетона. Изучены адгезионные свойства кладочных растворов на различных основаниях. Проведены исследования усадочных деформаций и показателей теплового расширения кладочных растворов различных составов. Разработанные кладочные растворы по прочности при сжатии в 3–3,5 раза выше, чем у обычных, превосходят по адгезии в два раза и дешевле по стоимости сухих строительных смесей аналогичного назначения.

**Ключевые слова:** кладочные растворы, адгезия, закон сродства структур, усадочные деформации, тепловое расширение.

V.S. LESOVIK<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), L.Kh. ZAGORODNYUK<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (lhz47@mail.ru);

A.A. KUPRINA<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), Head of the Test Laboratory (anna-121989@mail.ru);

M.Yu. ELISTRATKIN<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), A.N. VOLODCHENKO<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova (46, Kostyukov Street, Belgorod, 308012, Russian Federation)

<sup>2</sup> ООО «ВНИИСТРОМ-НВ» (117, Karla Marksa Street, Kraskovo Village, Lyubertsy District, Moscow Region, 140050, Russian Federation)

### Efficient Masonry Mortars for Autoclaved Wall Materials

Taking into account the use of the law affinity structures, efficient masonry mortars for autoclaved wall materials on the basis of composite binders obtained as a result of cement and different mineral fillers, gas silicate, silicate brick and quartz sand, grinding in the vibrating mill have been developed. Complex studies of stones on the basis of synthesized composite binders, ceramic brick, silicate brick, cement concrete, have been conducted on different bases. Adhesion properties of masonry mortars have been studied on different bases. The study of shrinking deformations and indexes of heat expansion of masonry mortars of different compositions has been conducted. The compression strength of developed masonry mortars is 3–3.5 times higher than conventional mortars, their adhesion is 2 times higher, they are cheaper than dry building mixes of analogous purposes.

**Keywords:** masonry mortars, adhesion, law affinity structures, shrinking deformations, heat expansion.

Начало XXI в. – сложный этап в эволюции человечества. Это подтверждается не только геополитическими и социальными проблемами, но и возросшим количеством природных и техногенных катастроф, деградацией окружающей среды. Только за последние 20 лет число природных катастроф по последствиям возросло в 1,4 раза и число пострадавших от чрезвычайных ситуаций возросло с 2 до 154 тыс. человек в год [1–3].

Сотни тысяч жизней могли быть спасены, если бы в мире активно внедрялись достижения фундаментальной и прикладной науки. Анализ данных о причинах разрушений в результате природных и техногенных катастроф свидетельствует о несоответствии требований к условиям эксплуатации жилых и промышленных объектов, в том числе и о низкой адгезии кладочных растворов к стеновым материалам.

Повышенный интерес к разработке эффективных кладочных растворов с высокой адгезией к основанию обусловлен ужесточением требований к надежности строительных конструкций. Кладка стен из силикатных материалов по прочности сцепления не удовлетворяет требованиям СНиП 11-7-81\* «Строительство в сейсмических районах», что делает невозможным применение силикатного кирпича в районах с повышенной сейсмичностью.

В настоящее время разработаны теоретические основы существенного повышения адгезии кладочных растворов к стеновым материалам. Сформулирован закон сродства структур, заключающийся в проектировании слоистых композитов, кладочных растворов и ре-

монтных систем, на нано-, микро- и макроуровне аналогичных базовой матрице [4–8]. Реализация этого закона позволяет в разы увеличить адгезию кладочных растворов, особенно это относится к силикатным материалам автоклавного твердения.

С целью разработки высокоэффективных кладочных растворов для возведения зданий из силикатных материалов были изучены свойства поверхности материала подложки. Для обеспечения должного сцепления на уровне механического зацепления важную роль играет шероховатость поверхности подложки.

Применяемые для кладки стеновые материалы имеют различные строение и свойства. Достижение высокой прочности кладки возможно только в том случае, когда применяемый кладочный раствор будет иметь химическое и минеральное сродство к основанию; будут учитываться особенности стенового материала и раствора, близость их коэффициентов теплового расширения, в том числе состояние и вид поверхности, по которой будет происходить взаимодействие.

Поверхность силикатного кирпича плотная, сформирована цементированными выступающими песчинками и кавернами между ними (рис. 1).

Механизм обеспечения адгезии заключается в физико-химическом взаимодействии, основанном на срастании мелкокристаллических новообразований гидросиликатов кальция различной основности, обеспечивающих достаточную прочность и долговечность раствора, по совокупной площади поверхности (с учетом выступов и впадин), так и на механическом взаимодействии за счет наличия шероховатой поверхности. Последнее

Таблица 1

№	Обозначение	Вид добавки	Состав, мас. %	
			ЦЕМ I 42,5	Минеральная добавка
1	КВ40Гс	Газосиликат	40	60
2	КВ40Ск	Силикатный кирпич	40	60
3	КВ40Кп	Кварцевый песок	40	60
4	ПЦ	–	100	–

**Примечание.** Композиционные вяжущие получали помолом компонентов в вибрационной мельнице.

Таблица 2

Состав композиционного вяжущего	Адгезия к основанию, МПа	
	Силикатный кирпич	Цементный бетон
P1 (КВ40Гс)	0,57	0,39
P2 (КВ40Ск)	0,48	0,43
P6 (КВ40Кп)	0,29	0,76
ЦИП*	0,37	0,48

**Примечание.** \* ЦИП – цементно-известково-песчаный раствор (Ц – 20%; И – 5%; П – 75%).

повышает прочность сцепления при сдвиге и в некоторой степени при отрыве.

Для обеспечения хорошего заполнения каверн растворная смесь должна содержать достаточное количество подвижного цементного клея, способного заполнять неровности рельефа поверхности материала. Традиционные растворные смеси на основе песка и цементно-известкового, цементно-гипсового или цементно-глиняного вяжущего и песка зачастую не обеспечивают необходимой однородности и качества кладки.

С этой точки зрения применение высоконаполненных композиционных вяжущих может стать экономичным и эффективным решением.

Таким образом, для повышения монолитности кладки необходимо увеличение дисперсности вяжущего кладочного раствора, оптимизация гранулометрического заполнителя, обеспечение и сохранение высокой подвижности раствора в течение первых 10–20 мин после укладки для формирования благоприятной первоначальной структуры, гармонизация деформативных и тепловлажностных свойств ее элементов.

С учетом вышеизложенного разработаны композиционные вяжущие. В качестве минеральных добавок в состав композиционных вяжущих для кладочных растворов использовали бой газосиликата и силикатного кирпича (табл. 1).

В связи с тем, что в кладке растворы твердеют в трудно контролируемых условиях, важным является способность растворной составляющей поддерживать благоприятный для твердения микроклимат. Структура растворного камня должна обладать развитой внутренней поверхностью для аккумуляции влаги и последующей отдачи ее для протекания дальнейших процессов гидратации.

На основе комплексных исследований кладочных растворов, приготовленных при использовании различных композиционных вяжущих с использованием различных минеральных наполнителей и нанесенных на разные основания (силикатный кирпич, керамический кирпич, бетон), установлено, что композиционное вяжущее с использованием отходов газосиликата и нанесенное на газосиликатное основание, имеет наиболее комфортные условия для гидратации цемента. За счет наличия в отходах газосиликата микропористых сростков кристаллических частиц различной морфологии создаются внутренние объемы для аккумуляции влаги. Поэтому кладочные растворы, полученные на

основе отходов газосиликатов, отличаются высокой способностью к удержанию воды, что создает благоприятные условия для процессов структурообразования в период твердения. Кроме того, гидросиликаты кальция, присутствующие в отходах газосиликатов, выступают в качестве тончайших подложек для формирования гидратных новообразований, которые дополнительно укрепляют структуру будущего композита. Результаты исследования микроструктуры подтвердили выдвинутое положение о высокой химической активности компонентов композиционного вяжущего, что безусловно положительно отражается на физико-механических характеристиках полученных растворов.

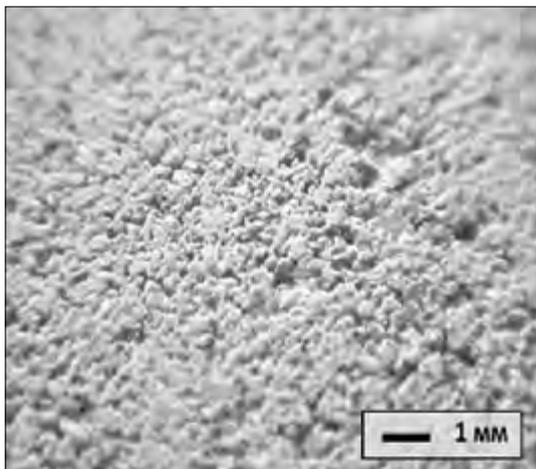
Однако композиционные вяжущие типов КВ40Ск и КВ40Кп, содержащие в качестве минеральной добавки силикатный кирпич и кварцевый песок, отличаются низкой способностью поддерживать внутренний благоприятный для твердения микроклимат.

Вторым и наиболее важным аспектом повышения прочности кладки является адгезия раствора к основному материалу. В соответствии с ГОСТ 31356–2007 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний» прочность сцепления (адгезию) раствора определяют по силе отрыва образца затвердевшего раствора от основания – бетонной плиты. Это не коррелируется с реальными условиями твердения раствора, при которых он находится в монтажной и эксплуатационной среде. В связи с этим предложена методика, которая в большей степени отражает реальные условия.

Определение адгезии кладочного раствора к стеновым материалам осуществлялось по разработанной авторами методике. Для этого из стенового материала были выпилены образцы размерами 125×60 мм, толщиной 35 мм. Образцы склеивались кладочным раствором крест-накрест, таким образом, чтобы раствор контактировал с незатронутой резкой поверхностью образцов, а толщина шва составляла стандартные 8–12 мм. После затвердевания раствора производился отрыв образцов друг от друга с замером максимального усилия (табл. 2).

Установлено, что растворы, приготовленные на различных композиционных вяжущих и нанесенные на различные основания, имеют различные показатели адгезии.

При сравнении адгезии различных композиционных вяжущих к поверхности отмечается, что при использовании цементно-песчаного раствора показатели адгезии



**Рис. 1.** Строение поверхности силикатного кирпича

составляют 0,37 МПа, при использовании композиционного вяжущего с силикатным кирпичом прочность повышается на 30%, а при использовании отходов газосиликатов – на 54% и составляет 0,48 и 0,57 МПа соответственно. Повышение адгезии к основанию этих композиционных вяжущих объясняется химическим и минеральным средством кладочного раствора и основания, обеспечивающего повышение физико-механических характеристик.

Адгезия композиционного вяжущего с применением тонкомолотого кварцевого песка на основании из цементного бетона дала повышение прочности на 58%, что представляет значительный технико-экономический интерес для производства кладочных растворов смесей.

Согласно полученным данным, наиболее значимым фактором, влияющим на сцепление стенового материала с кладочным раствором, является средство между ними. В соответствии с законом сродства структур одним из аспектов, обеспечивающих хорошее взаимодействие материалов, является близость их деформативных показателей.

Изучена динамика нарастания усадочных деформаций при твердении растворов различных составов, тепловое расширение растворов и основных кладочных материалов.

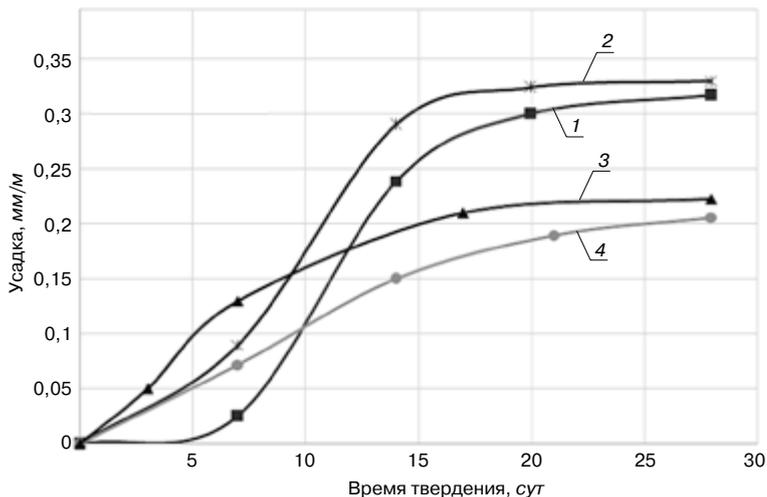
Как видно из кривых (рис. 2), состав кладочного раствора оказывает существенное влияние на величину и характер развития усадочных деформаций при твердении в течение 28 сут.

Величина усадки лежит в диапазоне 0,2–0,35 мм/м, что сопоставимо с усадкой рядового тяжелого бетона – 0,3 мм/м.

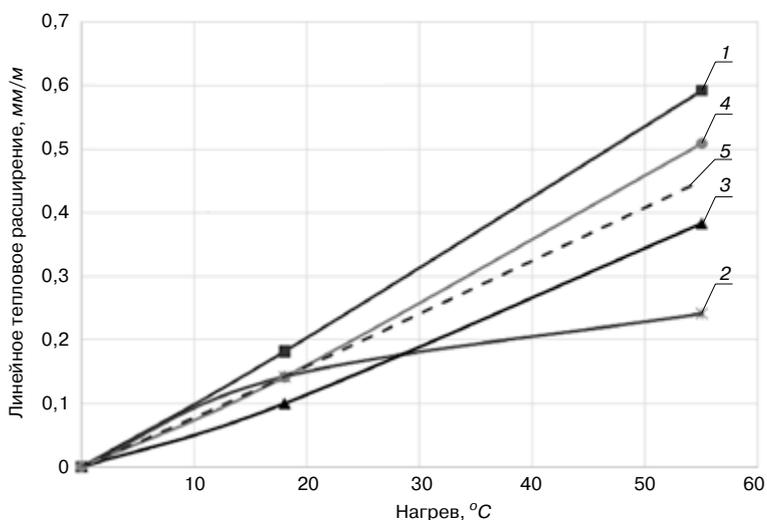
Основой прогнозирования долговечности каменных кладок на основе различных сочетаний стеновых материалов и растворов может стать сопоставление величины их теплового расширения при повышении температуры на 55°C, что соответствует максимальным среднесуточным перепадам температуры в Центральном регионе (рис. 3).

Согласно полученным данным, величина теплового расширения рассматриваемых стеновых материалов при нагреве на 55°C лежит в диапазоне 0,4–0,5 мм/м. Растворы составов Р1 и ЦИП имеют показатель термического расширения выше, чем у стеновых материалов, – 0,5–0,65 мм/м; составы Р2, Р6 – 0,4–0,7 мм/м.

При более сильных циклических нагревах-охлаждениях, по мнению авторов, предпочтительным является



**Рис. 2.** Кривые нарастания усадочных деформаций кладочных растворов различных составов: 1 – P1 (КВ40Гс); 2 – P2 (КВ40Ск); 3 – P6 (КВ40Кп); 4 – ЦИП



**Рис. 3.** Тепловое расширение материалов: 1 – P1 (КВ40Гс); 2 – P2 (КВ40Ск); 3 – P6 (КВ40Кп); 4 – ЦИП; 5 – силикатный кирпич

равное или повышенное значение величины теплового расширения раствора по отношению к кладочному материалу. В этом случае, увеличиваясь, кладочный раствор будет оказывать растягивающее воздействие на основной стеновой материал. Ввиду более высокой прочности и массивности восприятие подобных дополнительных нагрузок не создает риск его повреждения. Менее прочный кладочный раствор при этом будет находиться в благоприятном для себя сжатом состоянии.

При ином соотношении рассматриваемого показателя возникает риск растрескивания раствора при релаксации возникающих растягивающих напряжений и, как следствие, снижения долговечности кладки. Значение данного фактора возрастает при повышении температурных перепадов при эксплуатации (печи, дымоходы и др. тепловые агрегаты).

Таким образом, с учетом использования ранее предложенного закона сродства структур разработаны эффективные кладочные растворы для автоклавных стеновых материалов на основе композиционных вяжущих, полученных помолотом цемента и отходов газосиликатов. Разработанные кладочные растворы по прочности при сжатии растворов в 3–3,5 раза выше, чем у обычных, превосходят по величине адгезии в два раза и дешевле по стоимости сухих строительных смесей аналогичного назначения.



## Список литературы

1. Лесовик В.С. Геоника (геоммиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении: Монография. 2-е изд., доп. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 287 с.
2. Орлович Р.Б., Деркач В.Н. Оценка прочности кладочных растворов при обследовании зданий // *Инженерно-строительный журнал*. 2011. № 7. С. 3–10.
3. Леденев В.В., Однолико В.Г., Колесникова А.В. Причины повреждений и разрушений кирпичных зданий // *Вестник ТГТУ*. 2014. Т. 20. № 1. С. 141–149.
4. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Чулкова И.Л. Закон сродства структур в материаловедении // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 3. Ч. 2. С. 267–271.
5. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Беликов Д.А., Шекина А.Ю., Куприна А.А. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 82–85.
6. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagordnyuk L.Kh., Volodchenko A.A., Popov D.Y. The role of the law of affinity structures in the construction material science by performance of the restoration works // *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. No. 9, pp. 1100–1105.
7. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolnikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials // *Life Science Journal*. 2014. No. 11 (12s), pp. 948–953.
8. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of materials properties of natural and man-triggered origin // *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. No. 9, pp. 816–819.

## References

1. Lesovik V.S. Geonika (geommimetika). Primery realizatsii v stroitel'nom materialovedenii: Monografiya [Geonika (geommimetika). Examples of implementation in building materials: Monograph]. Belgorod: BGTU. 2016. 287 p.
2. Orlovich R.B., Derkach V.N. Evaluation of the strength of mortars when examining buildings. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2011. No. 7, pp. 3–10. (In Russian).
3. Ledenev V.V., Odnoliko V.G., Kolesnikova A.V. Reasons for damage and destruction of brick buildings. *Vestnik TGTU*. 2014. Vol. 20. No. 1, pp. 141–149. (In Russian).
4. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Chulkova I.L. Law affinity structures in materials science. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014. No. 3. Part 2, pp. 267–271. (In Russian).
5. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.Kh., Belikov D.A., Shchekina A.Yu., Kuprina A.A. Efficient dry mixes for repair and restoration works. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 82–85. (In Russian).
6. Lesovik V.S., Chulkova I.L., Zagordnyuk L.Kh., Volodchenko A.A., Popov D.Y. The role of the law of affinity structures in the construction material science by performance of the restoration works. *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. No. 9, pp. 1100–1105.
7. Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Tolmacheva M.M., Smolnikov A.A., Shekina A.Y., Shakarna M.H.I. Structure-formation of contact layers of composite materials. *Life Science Journal*. 2014. No. 11 (12s), pp. 948–953.
8. Kuprina A.A., Lesovik V.S., Zagorodnyuk L.H., Elistratkin M.Y. Anisotropy of materials properties of natural and man-triggered origin. *Research Journal of Applied Sciences*. 2014. No. 9, pp. 816–819.

Реклама



## ИЗНОСОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ

СДЕЛАНО НА УРАЛЕ!

**Ремонтно-механический завод «НИХАРД-СЕРВИС» производит:**

- била, молотки, щёки и футеровки дробилок;
- футеровки течек и рудоспусков;
- лопасти, брони и спицы бетоносмесителей;
- шнеки эсрудеров и глиносмесителей;
- детали, работающие в условиях абразивного износа;
- корпуса и крыльчатки шламовых насосов;
- бронифутеровки шаровых и стержневых мельниц;
- трубопроводы пневмотранспорта;
- лопасти шламовых бассейнов;
- сита грохотов.

**Ремонтно-механический завод «НИХАРД-СЕРВИС» - это:**

- 250 лет лучших традиций златоустовской металлургии;
- многолетний опыт работы с производителями строительных материалов;
- сотрудничество с Южно-Уральским Государственным Университетом, участие в Союзе производителей бетона России;
- непрерывные исследования по повышению износостойкости материалов.



ООО РМЗ «Нихард-сервис»  
456209, Челябинская область,  
г. Златоуст, ул. Им. А.Н. Радищева, 3

+7 (351) 777-62-09;  
+7 (351) 325-01-34

E-mail:  
rmz.nihard@mail.ru





## TESCARGILLA 2016

26–30 сентября 2016 г. в итальянском Римини состоялась 25-я Международная выставка технологии оборудования для керамической и кирпичной промышленности Tescnargilla. Это комплексное выставочное мероприятие, включающее собственно выставку, обширную деловую программу, а также конкурс дизайнерских работ в области применения керамических материалов, является крупнейшим событием в первую очередь в области тонкой и санитарно-технической керамики.



Выставка Tescnargilla-2016 вновь продемонстрировала рост выставочных показателей по сравнению с 2014 г. Новые разработки в области технологии керамики и оборудования представили около 430 компаний из 27 стран мира, экспозиция заняла в общей сложности 80 тыс. м<sup>2</sup> выставочной площади, что на 7% больше, чем в 2014 г. Было зарегистрировано 33,4 тыс. посетителей из 100 стран (+ 4%). Еще больше увеличилось число зарубежных гостей выставки – на 6,3% (16,8 тыс. специалистов).

Для переговоров представителей компаний и потенциальных покупателей была оборудована специальная бизнес-площадка, на которой состоялось более 1,5 тыс. встреч. Это подтверждает высокий статус выставки Tescnargilla, которая является одним из наиболее важных мировых мероприятий керамической отрасли.

Как отметили экспоненты, постоянно повышается уровень посетителей, в основном это руководители высшего звена, облеченные полномочиями для принятия решений, представители собственников, топ-менеджеры компаний, выпускающих тонкую керамику, санитарно-технические изделия и стеновые керамические материалы.

В экспозиции выставки было представлено четыре тематических раздела. Собственно выставка **Tescnargilla** (технология и оборудование для тонкой и санитарно-технической керамики) заняла восемь выставочных павильонов, **Claytech** (технология и оборудование для строительной керамики) – один павильон, **Kromatech** (производство пигментов, деколей, глазурей, смальт, технологии окрашивания и декорирования керамических изделий) – два павильона. Появился новый раздел **T-White**, посвященный оборудованию и технологии производства санитарно-технических изделий и посуды.

Традиционный Ceramic Workshop вновь продемонстрировал стремление производителей максимально использовать возможности современных технологии при создании новых декоров и фактур отделочной керамики.

Экспозиции крупнейших игроков на рынке технологического оборудования SACMI, SISTEM Ceramics, SITI-B&T Group как и последние несколько лет занимали отдельные павильоны.

Для читателей журнала «Строительные материалы»<sup>®</sup> наибольший интерес всегда представляет экспозиция **Claytech**. В данном разделе было представлено около 50 участников, среди которых преобладали итальянские производители оборудования для кирпичной промышленности.

В деловых поездках, организуемых редакцией, органично сочетается работа на выставке и участие в деловой программе, знакомство с машиностроительными компаниями и посещение заводов по производству керамических стеновых материалов.

Для журнала «Строительные материалы»<sup>®</sup>, организатора международного информационно-аналитического проекта КЕРАМТЭКЭС, Tescnargilla-2016 стала знаковым событием – 10 лет сотрудничества с коллегами из отдела маркетинга по работе с иностранными партнерами компании RIMINI FIERA. Во время выставки мы обсудили программу дальнейшей совместной работы.

А на стенде журнала, как всегда, проходили встречи с зарубежными партнерами и российскими коллегами. Несмотря на то, что экономическая ситуация в нашей стране выравнивается медленно, инвестиционная активность собственников кирпичных заводов не высока, многие компании–производители технологического оборудования достаточно оптимистично оценивают потенциал российского рынка, поэтому планируют рекламную кампанию и свое присутствие на главном профессиональном форуме российских кирпичников – Международной научно-практической конференции КЕРАМТЭКЭС.





В 2017 г. Международная научно-практическая конференция «Развитие керамической промышленности России: КЕРАМТЭКС» состоится 15-й раз. На стенде спонсора конференции итальянской компании «Бедески» (BEDESCHI) состоялась презентация мероприятия.



Итальянская компания «Колоробья» (Colorobbia SpA) занимается производством пигментов для керамики с 1921 г. Основанная Гвидо Бетосси, компания по настоящее время остается семейным бизнесом. В группу входят 28 предприятий в разных странах мира, где трудятся в общей сложности более 2 тыс. сотрудников. Наряду с традиционными продуктами: глины, глазури и краски для художественной керамики, Colorobbia также производит материалы для декорирования керамики, фарфора и стекла с использованием драгоценных металлов, глазури и ангобы для черепицы и кирпича. Современное оборудованные лаборатории используются для производства качественной продукции с постоянными характеристиками, которые, в сочетании с технической поддержкой и опытом персонала, являются сильной стороной Группы Colorobbia.

В 2008 г. семьей Битосси был основан фонд в поддержку керамического искусства и химической промышленности (Fondazione Vittoriano Bitossi), который находится на исторической территории завода Maioliche Artistiche Guido Bitossi в г. Монтелупо-Фьорентино. В Промышленном архиве компании бережно сохраняется оборудование, документы и керамические изделия, изготовленные на первом заводе. На основе архива создан Художественно-промышленный музей Битосси (Museo Artistico Industriale Bitossi), посетить который, к сожалению, нашей группе не удалось, все время было отдано производству и лаборатории.





Одной из важнейших составляющих кирпичного производства являются огнеупорные материалы, которые используются для футеровки печных каналов и вагонеток. Партнер проекта КЕРАМТЭКС итальянская компания «Линко Баксо» (Lincovo) пригласила российских специалистов посетить два своих завода по производству огнеупоров – «Мареф» и «ТЕК РЕФ», расположенных в г. Бондено. Для производства широкого ассортимента огнеупорной продукции для разных отраслей промышленности компания закупает лучшие сырьевые материалы по всему миру. К сожалению, политика фирмы не предусматривает фото и видеосъемку гостями предприятий, однако технический директор компании лично сопровождал нашу группу и обстоятельно отвечал на все вопросы.

В настоящее время Lincovo является лидирующим производителем неформованных и формованных огнеупоров, торкретмасс, набивных масс, пластичных масс, бетонов, цемента на основе оксида алюминия, алюмосиликата, оксида магния, карбида кремния, хромита и графитосодержащих изделий.



Итальянская компания «Маркелуццо Импианти» (Marcheluzzo impianti) укрепляет партнерские отношения с российскими кирпичными заводами и редакционным проектом КЕРАМТЭКС, постоянно участвуя в его мероприятиях. В рамках поездки группы КЕРАМТЭКС в Италию, компания Marcheluzzo предоставила нам возможность посетить штаб-квартиру фирмы, ее машиностроительное производство, а также действующий кирпичный завод Fornace Zanrosso S.r.l. Этот относительно не новый завод, расположенный в верхней Виченции, выпускает крупноформатные керамические блоки. Чтобы успешно конкурировать на очень жестком кризисном рынке, владельцы предприятия постоянно совершенствуют технологию с целью повышения качества продукции, увеличения ее добавленной стоимости и рентабельности. Одним из таких решений стала шлифовальная линия для обожженной продукции, которую спроектировала и установила компания Marcheluzzo, имеющая опыт поставки таких линий, в том числе для передовых европейских и мировых производителей – Terreal и Wienerberger. Для комплектации линии было использовано, в том числе самое эффективное оборудование ряда европейских производителей.



Участники российской делегации – представители кирпичных заводов каждый раз отмечают радушие и гостеприимство итальянских коллег. Ведь благодаря им наши поездки становятся насыщенными разносторонней профессиональной информацией, но удается выкроить время и для приятного отдыха. И конечно, важнейшим результатом таких поездок является живое профессиональное общение, новые контакты и расширение кругозора.

*Следующая встреча КЕРАМТЭКС состоится в Чебоксарах 14–15 июня 2017 г. Ждем вас, друзья!*

*Е.И. Юмашева, фото автора и Б.В. Мельниченко*

## Немецкая компания **KELLER HCW** награждена призом FANUC 2016

На крупнейшей в мире выставке по автоматизации и робототехнике «Automatica» в Мюнхене (Германия) представителям компании KELLER HCW (КЕЛЛЕР ХЦВ): управляющему директору д-ру Йохену Ниппелю и руководителю отдела продаж Ульриху Хагеманну в присутствии президента и генерального директора фирмы FANUC д-ра Йошихару Инаба был вручен Fanuc-Award 2016 за выдающиеся достижения в разработке автоматизированных промышленных манипуляций. Награда крупнейшего в мире производителя промышленных роботов присуждается раз в два года партнеру, который сумел заявить о себе на международном уровне благодаря особенно убедительным техническим решениям.

Г-н Ральф Гронеманн, директор по продажам компании «Fanuc Germany GmbH», при вручении приза в категории автоматизированных манипуляций подчеркнул, что компания KELLER HCW является не только одним из старейших и известнейших производителей оборудования для производства строительных материалов во всем мире, но и авангардом самых инновационных решений.

Партнерские отношения между Fanuc и компанией с богатыми традициями KELLER HCW берут свое начало в 1989 г. с установки первого робота Fanuc на кирпичном заводе. С тех пор компанией KELLER HCW установлено более 400 «желтых» роботов во всем мире. В связи с этим Ральф Гронеманн добавил, что в данном случае речь идет в основном об использовании универсальных роботов для выполнения разных операций. Оборудование, представленное на выставке «Automatica» – наглядное свидетельство тому, что обращение с тяжелыми промышленными роботами для KELLER HCW – обычное дело, это подтверждает реализация множества крупных проектов в последние годы.

Руководитель отдела продаж Ульрих Хагеманн при получении награды Fanuc подчеркнул высокий уровень компетентности специалистов KELLER HCW и то, что внедрение технических решений при использовании робототехники распространяется не только на отрасли керамической промышленности, но и применимо также во многих других областях. В конечном счете для чувствительных



и прецизионных схватов Fanuc абсолютно не имеет никакого значения объект манипуляций – им может быть как кирпич, так и замороженная пицца. Компаниям KELLER HCW и Fanuc всегда удалось найти оптимальное решение для любой поставленной задачи.

Фото: © Fanuc Deutschland GmbH

Приходите к нам @ CERAMATECH 2017

Павильон 7 • Стенд С11

www.keller.de/ruf

KELLER

A DIVISION OF GROUPE LEONIS INDUSTRIES

KELLER

Creating Solutions

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, канд. техн. наук, директор, Г.Я. ШАЕВИЧ, исполнительный директор,  
А.В. АНДРИАНОВ, начальник отдела, Д.А. ПЕРМЕНЕВ, инженер-технолог

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

## Эффективное смешивание инновационным смесителем «ТОРС»

Описан метод определения качества смеси. Рассмотрена запатентованная конструкция торового смесителя и принцип его работы, полностью исключающий застойные зоны. Приведен анализ результатов испытаний на смешивание различных материалов новым смесителем. Показано, что торовый смеситель эффективно перемешивает сухие строительные материалы, имея меньшие энергозатраты и стоимость в сравнении с традиционным смесительным оборудованием. Смеситель «ТОРС» может применяться в различных областях промышленности, где необходимо получение качественных сухих смесей, а также может быть эффективно использован для получения глиняного шликера.

**Ключевые слова:** эффективность смешивания, смеситель сухих смесей.

I.F. SHLEGEL, Candidate of Sciences (Engineering), Director, G.Ya. SHAEVICH, Executive Director,  
A.V. ANDRIANOV, Head of Department, D.A. PERMENEV, Engineer-Technologist  
Institute of New Technologies and Automation of the Industry of Construction Materials, ООО «INTA-STORY»  
(100, Putevaya Street, 644113, Omsk, Russian Federation)

### Efficient Mixing with Innovative Mixer «TORS»

The method for determining the mixture quality is described. The patented design of a toroidal mixer and principles of its operation, which completely exclude stagnation zones, are considered. The analysis of test results for mixing of various materials with the new mixer is presented. It is shown that the toroidal mixer efficiently mixes dry building materials at smaller energy expenditures comparing with traditional mixing equipment. The mixer «TORS» can be used in different fields of the industry where it is necessary to obtain qualitative dry mixes as well as it can be efficiently used for producing the clay slurry.

**Keywords:** efficient mixing, dry mixes mixer.

Растущие требования к качеству современных строительных смесей приводят к созданию новых смесителей, обеспечивающих высокую однородность конечного продукта. Выбор смесительного оборудования является ответственным шагом на пути получения смеси высокого качества.

Равномерное распределение многокомпонентных добавок в смеси во многом зависит от интенсивности и времени воздействия рабочих органов на материал, оптимальной энергонапряженности процесса, от свойств перемешиваемых компонентов. Однако получение гомогенных смесей – процесс достаточно дорогой, требующий высоких затрат энергии, поэтому зачастую выбирается не оптимальная степень совмещения компонентов, а минимально достаточная или практически достижимая при использовании смесительных агрегатов «классической» конструкции.

Перед коллективом института ИНТА-Строй стояла задача не только создания высокоэффективного смесителя с уменьшенным энергопотреблением, но и разработки методики определения качества смешивания. На основании анализа ряда стандартных методов качественной оценки смеси, был разработан метод, основанный на определении коэффициента вариации с его последующей оценкой [1].

Смешивание различных материалов – сложный механический процесс. Основным качественным критерий завершенности процесса смешивания – однородность конечного продукта. Однородной считается смесь, в которой содержание компонентов в любом ее объеме не отличается от заданного содержания всей смеси.

Невозможно определить, насколько равномерно распределены все компоненты в смеси. Проследить за равномерностью распределения 1–2 компонентов можно. Экспериментально установлено, что если какой-то компонент распределен в смеси равномерно, то и дру-

гие компоненты также распределены равномерно. Однако определить равномерность распределения этих компонентов можно лишь в тех случаях, когда методы их количественного определения сравнительно просты и наличие других компонентов не мешает анализу. Такие компоненты называют «ключевыми».

Эффективность смешивания, которое рассматривают как стохастический (случайный) процесс, определяют на основе статистических характеристик смеси. Такой характеристикой обычно служит коэффициент вариации (неоднородности) распределения «ключевого» компонента в смеси.

Коэффициент вариации определяют по формуле:

$$V_c = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\bar{x}$  – среднее содержание «ключевого» компонента в смеси, %;  $x_i$  – содержание «ключевого» компонента в каждой из проб, %;  $n$  – число проанализированных проб.

Для оценки процесса смешивания следует придерживаться следующих показателей, принятых в пищевой промышленности [2]:

- $V_c < 5\%$  – качество смеси отличное;
- $5\% < V_c < 7\%$  – хорошее;
- $7\% < V_c < 15\%$  – удовлетворительное;
- $V_c > 15\%$  – плохое.

Опираясь на принципы, изложенные выше, для определения эффективности смешивания предложена и опробована следующая методика. В шихту вводится известное количество «ключевого» компонента, в данном случае использованы гранулы вспенивающегося полистирола марки FSA, фракции 0,8–1,2 мм. Количество вводи-

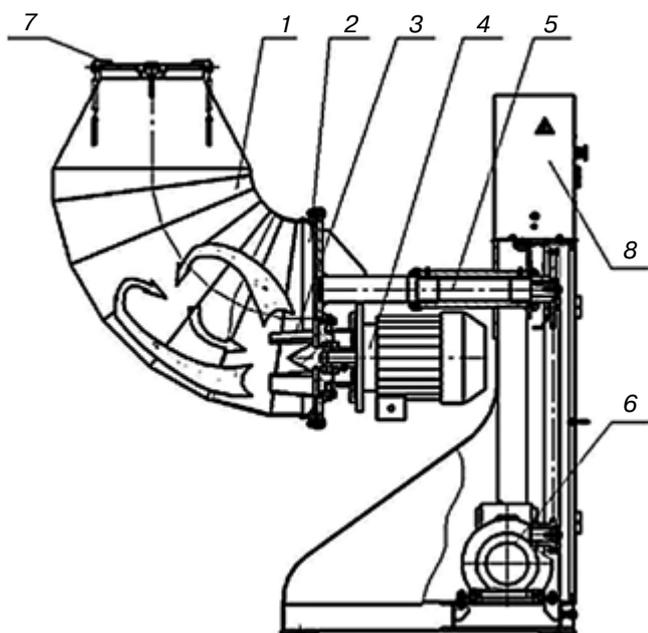


Рис. 1. Смеситель торový «ТОРС-150»: 1 – смесительная камера; 2 – днище; 3 – активатор; 4 – электродвигатель активатора; 5 – поворотное устройство; 6 – мотор-редуктор поворота корпуса; 7 – горловина; 8 – шкаф управления

мого компонента может составлять 1–2% от массы материала. В процессе перемешивания отбираются представительные пробы. Количество проб должно быть не менее трех и масса каждой пробы не менее 3 кг.

Вторым шагом в методике определения качества смешивания является анализ содержания «ключевого» компонента в 5–10 навесках по 100 г каждая, отобранных из каждой представительной пробы методом квартования. Материал и полистирольные гранулы высушиваются при 105°C. В процессе сушки полистирольное зерно вспучивается, что позволяет его легко отделить от остальной (песчаной, цементной и т. д.) составляющей и взвесить. Вычисляется процентное содержание гранул в каждой отдельной пробе. Для полученных значений содержания компонента в пробах по формуле (1) рассчитывается коэффициент вариации. Среднее значение коэффициентов вариации представительных проб и является критерием оценки эффективности смешивания.

В сложившейся ситуации, когда существующее технологическое оборудование, как и сама реализуемая в них модель смешивания, практически полностью исчерпали возможности дальнейшего улучшения, особую опасность представляет распространенное заблуждение, что достигнутый уровень однородности смеси является до-

статочным и дальнейшее его повышение экономически нецелесообразно. При этом забывается тот факт, что производственная практика получения смесей высокой однородности зачастую останавливается именно на грани экономичности, обусловленной самим типом применяемого смесительного оборудования [3]. Вооружившись сравнительным методом оценки качества, специалисты ИНТА-Строй задались целью создания смесительного оборудования, отличающегося простотой конструкции, но в то же время способного за короткое время перемешать сухие смеси с оптимальными энергозатратами. Такой машиной стал торový смеситель «ТОРС».

Известные смесители циклического действия с горизонтальным валом в зависимости от диаметра активатора и угловой скорости вращения смешивающего органа осуществляют перемешивание компонентов сухих смесей в четырех основных режимах. Условно их можно обозначить как: тихоходный, среднескоростной, скоростной и высокоскоростной режимы смешивания [3]. Изобретение ООО «ИНТА-Строй» [4] относится к скоростным смесителям периодического действия.

Для скоростных смесителей характерно, помимо механического воздействия смешивающих органов на обрабатываемый материал, интенсивное воздействие динамических потоков смешиваемых компонентов, что, в свою очередь, обеспечивает глубокое объемное перемешивание массы материала в «мертвых» зонах, однако полностью исключить такие зоны в существующих смесителях не получалось. Эта проблема была решена за счет особенности конструкции смесителя «ТОРС».

Рассмотрим конструкцию и основные особенности смесителя на примере пилотной установки «ТОРС-150», прошедшей комплекс испытаний на производственной базе ООО «ИНТА-Строй» (рис. 1).

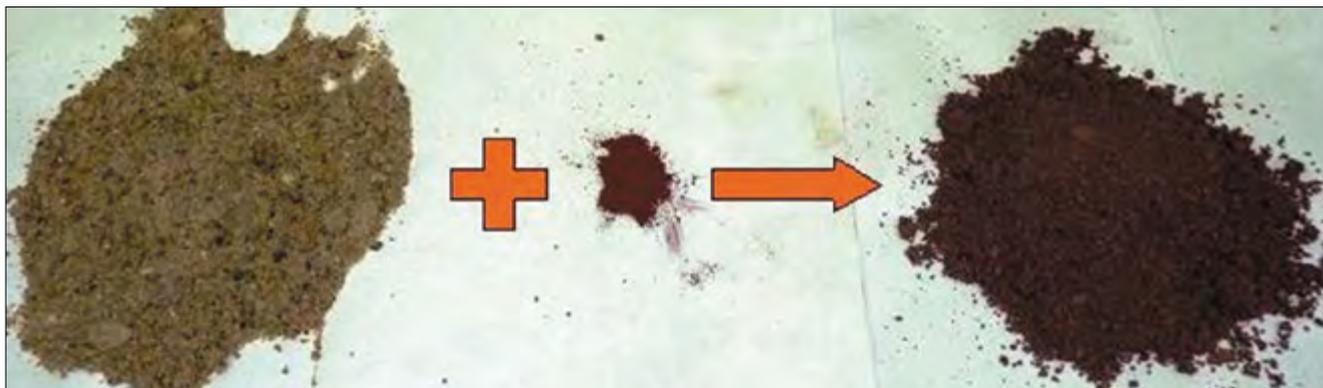
Данная модель имеет рабочий объем корпуса 150 л, мощность привода активатора 5,5 кВт, скорость его вращения 1440 об/мин.

Смеситель «ТОРС-150» состоит из смесительной камеры (1), выполненной в форме сектора тора, в днище (2) которого смонтирован активатор (3), установленный на валу электродвигателя (4). К днищу (2) крепится поворотное устройство (5); повороты камеры (1) осуществляются за счет мотор-редуктора (6). Для загрузки и выгрузки материала служит горловина (7), соединенная с торовой камерой (1). При выгрузке материала камера (1) поворачивается за счет устройства (5) вниз горловиной (7), а при загрузке – вверх. При работе смесителя происходит качание корпуса на предварительно настроенный угол в каждую сторону. Для управления активатором и настройки качания служит шкаф управления (8), установленный на раме смесителя.

Таблица 1

Оценка качества перемешивания смесителем «ТОРС-150»

Материал	Объем загрузки, л	Масса загрузки, кг	Частота вращения активатора, об/мин	Ток нагрузки, А	Время смешивания, мин	Коэффициент вариации	Качество смешивания
Железная окалина	150	45	1440	7–9	5	3,72	отличное
					10	1,52	отличное
Песок	130	170	1440	9–10	5	11,48	удовлетворит.
					10	6,11	хорошее
Цемент	130	150	900	8–12	3	2,48	отличное
					5	2,56	отличное
					10	1,82	отличное



**Рис. 2.** Объемное окрашивание песка в смесителе «ТОРС»

**Таблица 2**

**Смесители серии «ТОРС»**

Технические характеристики	ТОРС-50	ТОРС-150	ТОРС-250	ТОРС-500
Рабочий объем корпуса, л	50	150	250	500
Установленная мощность, кВт	2,2	6,6	13,2	18
Частота вращения активатора, об/мин	2000	1500	1000	750
Длина, мм	1220	1470	1980	2760
Ширина, мм	500	960	1250	1540
Высота, мм	1150	1590	1900	2110
Масса без груза, кг	120	390	500	700

Компоненты, приготовленные для смешивания, загружают через горловину, закрывают крышку камеры. Включается электродвигатель, который приводит во вращение активатор с закрепленными на нем лопастями. Начинается процесс перемешивания. Материал захватывается лопастями, развернутыми под острым углом в направлении вращения и формирующими вокруг вала некое подобие шнековой лопасти, способствующей не только закручиванию и радиальному разбросу материала под действием центробежных сил, но и его выталкиванию вперед по периметру днища в объем камеры. В центре активатора создается зона разрежения, где материал снова направляется в зону действия лопастей. В результате создается свободная многократная циркуляция материала по всему объему камеры, в процессе которой происходит аэрация материала – дополнительное насыщение его воздухом, что предотвращает комкование.

Тороидальная поверхность камеры, ограничивающая объем, где происходит перемешивание материала, не препятствует свободе перемещения последнего вверх и вперед, обеспечивая минимальное сопротивление движению материала, чего невозможно добиться, используя цилиндрическую вертикальную или горизонтальную камеру.

Кроме того, во время работы установки происходит качание смесительной камеры относительно горизонтальной оси поворотного устройства на предварительно настроенный угол вправо и влево для лучшего перемешивания материалов и полного устранения застойных зон.

Процесс продолжается до тех пор, пока смесь не станет оптимальной, после чего двигатель отключается, камера смесительная разворачивается на нужный угол (до 180°). Крышку камеры открывают и выгружают полученную смесь через горловину.

Система управления позволяет производить настройку угла качаний, задавать их количество в одном цикле. Встроенный частотный преобразователь позво-

ляет изменять скорость вращения активатора, подбирая оптимальный режим смешивания, и контролировать токовые нагрузки. Допускается ручной запуск активатора и качаний отдельно друг от друга, а также поворот камеры в любую сторону на необходимый угол.

По методике определения качества смешивания была проведена серия экспериментов с различными материалами (легкие, тяжелые и очень тяжелые). Полученные результаты представлены в табл. 1.

По результатам испытаний установлено, что смеситель «ТОРС» качественно перемешивает различные материалы на уровне зарубежных аналогов, при этом он имеет меньшую стоимость и энергоемкость.



**Рис. 3.** Работа смесителя «ТОРС»

Для каждой смеси можно подобрать свой оптимальный режим смешивания, экспериментально определяя наилучший результат за определенное время, подбирая скорость вращения активатора с наименьшими показаниями токовой нагрузки.

Кроме того, для визуальной оценки качества смеси в каждый материал добавлялся краситель. Например, в песок вводился оксид железа красного цвета в количестве 0,5% от общей массы; после 5 мин перемешивания наблюдался песок, равномерно окрашенный в красный цвет по всему объему (рис. 2).

Сотрудниками института было принято решение не останавливаться на достигнутых результатах, и в новой герметичной конструкции провели эксперимент по получению глиняного шликера. В установку загружали сухие комья глины из карьера и добавляли воду. При обработке данной смеси на выходе получили однород-

ный шликер с взмученными частицами глинистой составляющей.

При проливе через сита обнаружилось хорошее разделение на тонкодисперсные глиняные частицы и твердые частицы песка. Поэтому установку «ТОРС» можно также рекомендовать как агрегат для глинороспуска и получения качественного шликера.

На основе полученных данных конструкторами института разработан типоразмерный ряд смесителей серии «ТОРС» (табл. 2).

Уточнить информацию и посмотреть видеофильм по испытаниям торового смесителя «ТОРС» приглашаем на сайте фирмы ООО «ИНТА-Строй» (рис. 3). Будем рады видеть коллег в Омске, в Институте новых технологий и автоматизации промышленности строительных материалов, где можно ознакомиться с работой оборудования на опытном заводе.

#### Список литературы

1. Шлегель И.Ф., Шаевич Г.Я., Рукавицын А.В., Носков А.В., Слемнев Д.А. Определение эффективности смешивания при пластической подготовке сырья // *Строительные материалы* 2012. № 8. С. 22–23.
2. Черняев Н. Оценка качества смеси и эффективности работы дозаторов и смесителей // *Комбикорма*. 2010. № 4. С. 36–37.
3. Телешов А.В., Сапожников В.А. Производство сухих строительных смесей: критерий выбора смесителя // *Строительные материалы*. 2000. № 1. С. 10–11.
4. Патент RU 2538889. МПК: B01F7/00. *Смеситель для сыпучих материалов* / Шлегель И.Ф. Опубл. 10.01.2015. Бюл. № 1.

#### References

1. Shlegel I.F., Shaevich G.Ya., Rukavitsyn A.V., Noskov A.V., Slemnev D.A. Determination of Efficiency of Mixing in the Course of Plastic Preparation of Raw Materials. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 8, pp. 22–23. (In Russian).
2. Chernjaev N. Quality evaluation of mix and overall performance of batchers and mixers. *Kombikorma*. 2010. No. 4, pp. 36–37. (In Russian).
3. Teleshov A.V., Sapozhnikov V.A. Production of dry construction mixes: criterion of the choice of the mixer. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2000. No. 1, pp. 10–11. (In Russian).
4. Patent RF 2538889. МПК: B01F7/00. *Smesitel' dlja sypuchih materialov* [The mixer for bulks] Shlegel I.F. Published 10.01.2015. Bulletin No. 1. (In Russian).

Реклама

ТОРГОВЫЙ ДОМ  
**ИНТА-СТРОЙ**

ООО «ТД «ИНТА-СТРОЙ», 644113, Омск, ул. 1-я Путевая, 100.  
Тел.: (3812) 35-65-44, 35-65-45, info@inta.ru, www.inta.ru

**ПРЕДЛАГАЕМ  
ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

В оборудовании применен ряд оригинальных технических решений, защищенных российскими и зарубежными патентами

МЫ ЗВЕНЬЯ ОДНОЙ ЦЕПИ

УДК 621.783.237

М.В. ЛОПАТИНА, инженер, С.В. АНТОНЬЧЕВ, (25111976@list.ru) генеральный директор  
 ООО «Энергопромсервис» (117513, г. Москва, ул. Академика Бакулева, 14)

## Комплексное теплотехнологическое обследование туннельной печи для обжига кирпича

Приводятся результаты эксперимента по обследованию туннельной печи для обжига кирпича действующего кирпичного завода. Для экспериментального измерения параметров технологических агрегатов использованы современные приборы, позволяющие качественно и количественно оценить техническое состояние печи, равномерность прогрева садки при обжиге, качество регулировки тягодутьевого оборудования, причины возникновения брака кирпича, тепловые потери, определить пути поиска резервов экономии энергозатрат. Учитывая, что стоимость природного газа, идущего на обжиг кирпича, составляет существенную часть от себестоимости продукции, стало актуальным проводить данные исследования в рамках обязательного энергетического обследования (Постановление от 16 августа 2014 г. № 818 «Об установлении объема энергетических ресурсов в стоимостном выражении для целей проведения обязательных энергетических обследований»). Данные проблемы являются частным случаем для кирпичного производства, но они имеются и на других производствах, которые используют в технологии тепловые агрегаты. Описанная в статье методика обследования и приборы помогут выявить проблемы в тепловой обработке и найти пути к их устранению на всех теплотехнических агрегатах.

**Ключевые слова:** энергосбережение, диагностика оборудования, термометрирование, газовый анализ, вибродиагностика, тепловой баланс.

M.V. LOPATINA, Engineer, S.V. ANTONYCHEV, (25111976@list.ru), Director  
 ООО «Energopromservis» (14, Academic Bakulev Street, 117513 Moscow, Russian Federation)

### Complex Heat-Technological Inspection of a Tunnel Kiln for Brick Burning

Results of the experiment on inspecting the tunnel kiln for brick burning at the operating brick factory are presented. For experimental measuring of the parameters of process units, present-day devices which make it possible to qualitatively and quantitatively assess the technical state of the kiln, uniformity of heating of brick setting during the burning, quality of regulation of draught equipment, causes of defects in brick, heat losses, to identify ways of search of reserves of power consumption economy, were used. Taking into account the cost of natural gas for brick burning, it is actual to conduct these investigations within the frame of the mandatory Energy inspection (RF Government Resolution of 16 August, 2014, № 818 "On Establishing the Volume of Energy Resources in Monetary Terms for the Purpose of Carrying Out Obligatory Energy Inspections"). These problems are an individual case for brick production but they are available in other industries that use the thermal units in the technology. Methods of the inspection and devices described in this article will help to identify the problems in the heat treatment and find ways for their elimination in all heat-technical units.

**Keywords:** power supply, equipment diagnostics, thermo-metering, gas analysis, vibration-based diagnostics, thermal balance.

Важным фактором, влияющим на качество кирпича и количество брака, является соблюдение температурного режима при обжиге изделий. Необходимо, чтобы изделия в садке находились в одинаковых температурных условиях, т. е. обеспечивалась равномерность температуры в рабочем пространстве туннельной печи на каждой позиции по ширине и высоте. Неправильный режим может повлечь перерасход топлива, а также увеличить сроки обжига, снизив производительность печи [1–3]. Сбой в работе оборудования или тепловые потери в окружающую среду могут нарушить температурный режим внутри печи [4]. Поэтому периодическое проведение теплотехнологического обследования туннельной печи с целью поиска наилучших параметров работы установки и определения технико-экономических показателей является необходимым.

В ноябре 2015 г. специалистами ООО «Энергопромсервис» было проведено комплексное инструментальное обследование современными средствами измерения герметичной туннельной печи для обжига

кирпича МК-76 кирпичного завода Калужской области.

Обследование состояло из следующих этапов.

1. Термометрирование и анализ фактической кривой обжига кирпича и сравнение ее с технологической кривой обжига.
2. Газовый анализ аэродинамики туннельной печи.
3. Вибродиагностика тягодутьевого оборудования печи.
4. Тепловизионное исследование наружной поверхности стен и свода во всех зонах туннельной печи с целью установления фактических потерь.

5. Составление и расчет теплового баланса печи.

6. Выдача рекомендаций по улучшению тепловой работы печи и снижению брака кирпича.

Для измерения температуры в туннельных печах используют штатные термопары. При их использовании можно получить лишь некую среднюю температуру между садкой, газовой средой и кладкой в зоне измерения, а распределение температуры в объеме садки остается неизвестным. Используемая методика обследования печных агрегатов с помощью так называемого «черного

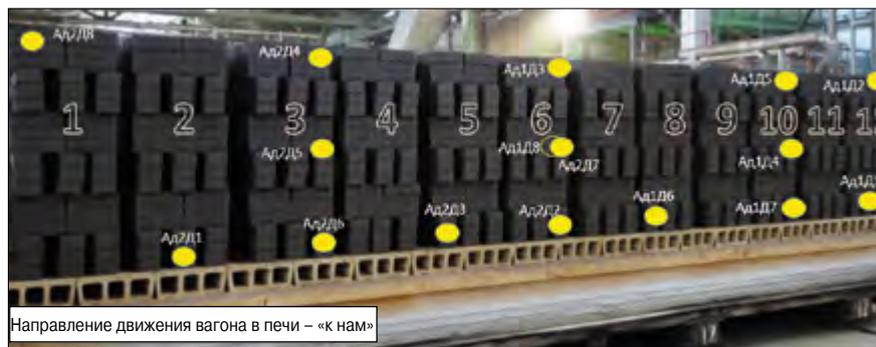


Рис. 1. Схема расположения термопар в садке кирпича

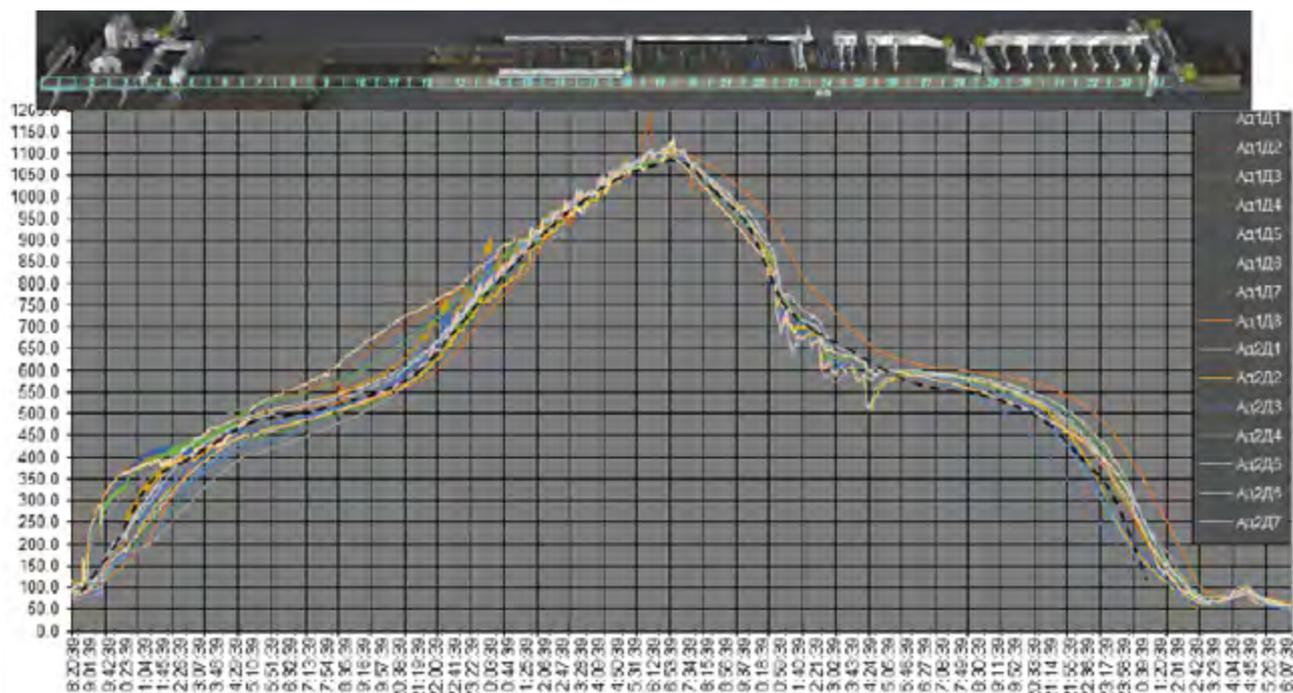


Рис. 2. Кривые обжига кирпича по 16 каналам были получены 25.11.15 г. в результате термометрирования печи МК-76

ящика» позволяет проводить изменение температурного поля внутри садки изделий в туннельных печах в реальном времени. Методику отличает высокая точность и достоверность получаемой информации, что связано с применением современных микропроцессорных запоминающих устройств, специально разработанного программного обеспечения и сведением к минимуму человеческого фактора.

Обследование кривой обжига осуществлялось гибкими термопарами типа КТХА, которые располагались на вагонетке в характерных точках внутри садки кирпича (рис. 1), и системой термометрирования Temperature Profiling Systems (аналог Datarag), расположенной в теплоизолированном ящике под вагонеткой. География точек термометрирования была выбрана согласно расположению наиболее слабых по механической прочности кирпичей и зазеркалена для объективности анализа результатов. Такая расстановка датчиков удовлетворительно отражает картину распределения температуры в объеме садки на каждой позиции печи во времени.

По результатам обследования получена температурная кривая обжига (рис. 2), на которой видно, что от входа в печь и вплоть до зоны обжига имеется большой разброс температуры по высоте садки, который превышает допустимый перепад температуры. Верхние ряды находятся много выше технологически заданной кривой обжига (штриховая линия), а нижние ряды стабильно

недогреты. В зоне обжига данный перепад сокращается, но в зоне охлаждения появляется вновь. Особенно благоприятным для появления внутренних микротрещин оказывается зона горячей рекуперации, при нахождении в которой изделие стремительно проходит точку фазового превращения кварца, что приводит к снижению механической прочности кирпича.

Аэродинамический режим оказывает решающее влияние на условия эксплуатации туннельных печей и должен быть отрегулирован таким образом, чтобы свести к минимуму выбивание печных газов или подсосы наружного воздуха в обжигательный канал [2]. Газовый анализ проводился с помощью газоанализатора MRU OPTIMA 7 и высокотемпературного газозаборного зонда длиной

1500 мм, из жаропрочного сплава на никелевой основе Inconel (до 1200°C). Отбор осуществлялся на боковых стенах печи с правой и левой сторон через стационарные отверстия. Обычно аэродинамический режим туннельных печей для обжига изделий строительной керамики характеризуется кривой динамического давления/разрежения среды по зонам рабочего пространства печи (рис. 3).

По графику динамического давления/разрежения туннельной печи по зонам видно, что в рабочем пространстве печи имеется нарушение аэродинамического равновесия по ширине печи. В зоне нагрева, где главную роль играет дымосос, видно, что больше теплового потока проходит вдоль левой стороны печи. Вибродиагностика дымососа пока-



Рис. 3. Изменение динамического давления/разрежения среды по зонам рабочего пространства печи МК-76

зала большой дисбаланс в работе рабочего колеса и дефект подшипников. А расположенные в этой зоне вентиляторы, очевидно, не справляются с перемешиванием среды. Выравнивается давление лишь в зоне обжига, но в зоне охлаждения аэродинамическое равновесие снова нарушается. Только преобладание потока оказывается по правой стороне печи. Проведение данного обследования помогает выявить неправильную работу тягодутьевых агрегатов, корректировка в работе которых или устранение неисправностей обеспечит равномерность тепловых процессов в садке [5].

Измерения температурных полей наружной поверхности стен и свода во всех зонах туннельной печи производились тепловизором Fluke Ti32 (рис. 4). Печь имеет 36 позиций с общей площадью наружной поверхности 2852,54 м<sup>2</sup>.

Анализ тепловизионного обследования стен и свода печи позволил выявить места с аномально повышенной температурой (плохо изолированные участки воздухопроводов и смотровых окон) и количественно оценить уровень потерь наружными поверхностями печи [6].

Данные объемного графика показывают, что наибольшие потери тепла происходят через свод печи, в большей мере в зоне обжига и горячей рекуперации (рис. 5). Анализ потерь тепла правой и левой поверхностями зон печи позволяет сделать вывод о нарушении аэродинамического равновесия в рабочем пространстве печи. В первой трети печи (до 11-й позиции печи)

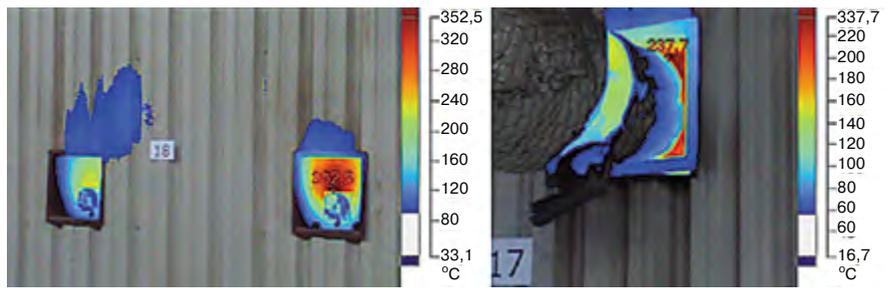


Рис. 4. Термограммы зон с повышенными теплотерями по зонам печи МК-76

**Сводная таблица теплового баланса печи**

Статьи теплового баланса	Количество тепла	
	кВт	%
<b>Приход тепла</b>		
Тепло горения топлива	8397,9	91,5
Тепло топлива физическое	3,8	0,1
Тепло загружаемого кирпича	327,7	3,56
Тепло, вносимое вагонетками	324,9	3,54
Тепло воздуха, идущего на горение	120,8	1,3
Итого	9175,8	100
<b>Расход тепла</b>		
Расход на испарение и нагрев влаги	143,2	1,5
Расход на химические реакции	1517,6	16,4
Потери с выходящими изделиями	256,8	2,8
Потери с выходящими вагонетками	290,1	3,1
Потери через кладку	302	3,3
Потери с уходящими газами	1451,5	15,7
Выход тепла с горячим воздухом (на сушило)	5197,7	56
Неучтенные потери	18,1	1,1
Итого	9175,8	100

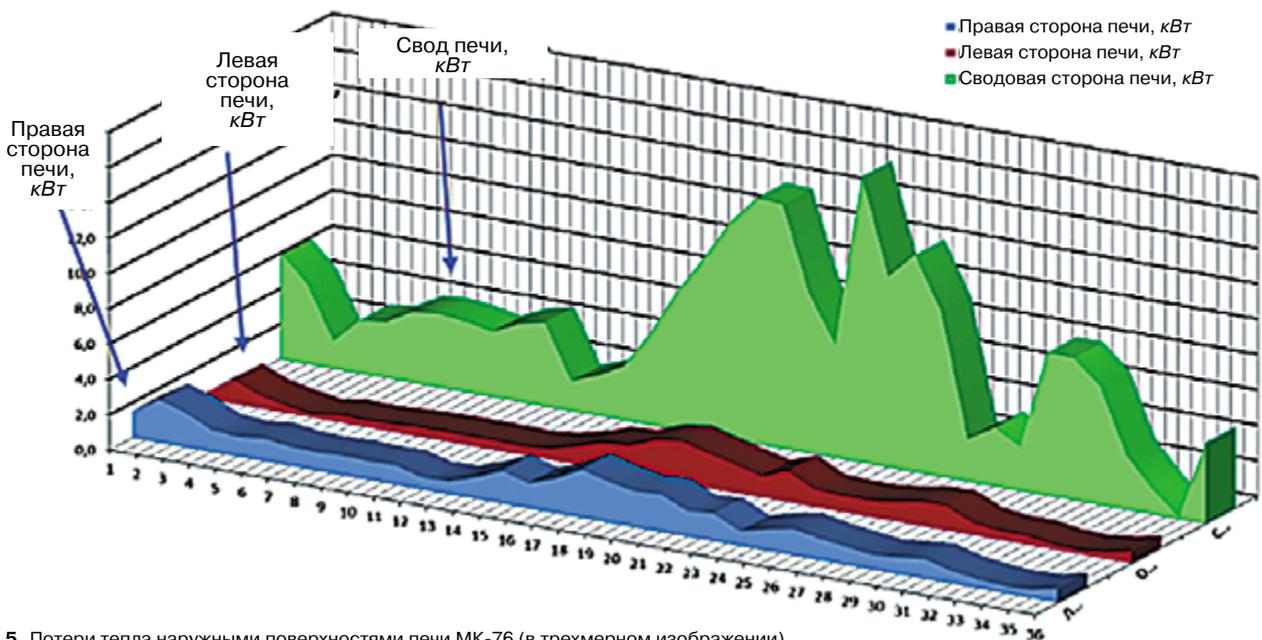


Рис. 5. Потери тепла наружными поверхностями печи МК-76 (в трехмерном изображении)

преобладают потери с правой поверхности (зона вытяжки и предобжиговая зона), а после в зоне обжига потери выравниваются и следующее нарушение аэродинамического равновесия просматривается в конце зоны горячей рекуперации (26-я позиция печи). Все это говорит о разной скорости потока теплоносителя в канале печи по левой и правой сторонам (нарушение аэродинамического режима печи) и подтверждается результатом термометрирования и графиком динамического давления.

Тепловой баланс туннельной печи рассчитывался по формуле [3]:

$$Q_{ТЛ} + Q_{Ф} + Q'_{К} + Q'_{В} + Q_{ВЗ} = Q''_{К} + Q_{ХИМ} + Q_{ИСП} + Q''_{В} + Q_{КЛ} + Q_{УХ} + Q_{ГВ} + Q_{неучт}$$

где приходные статьи:  $Q_{Ф}$ ,  $Q'_{К}$ ,  $Q'_{В}$ ,  $Q_{ВЗ}$  – соответственно теплота горе-

ния топлива, тепло топлива физическое, тепло загружаемых изделий, тепло, вносимое вагонетками, и тепло воздуха, идущего на горение; расходные статьи:  $Q''_{К}$ ,  $Q_{ХИМ}$ ,  $Q_{ИСП}$ ,  $Q''_{В}$ ,  $Q_{КЛ}$ ,  $Q_{УХ}$ ,  $Q_{ГВ}$  – соответственно потери тепла с керамическими изделиями, расход тепла на химические реакции, расход тепла на испарение и нагрев влаги, потери тепла с выходящими вагонетками, потери тепла наружными поверхностями печи, потери тепла с уходящими газами, выход тепла с горячим воздухом, направляемым на сушку.

Результаты расчета теплового баланса печи приведены в таблице.

В приходной части 91,5% тепла получается при горении природного газа. В расходных статьях теплового баланса велика доля тепла, отбираемого на сушилку (56%), и незначительны потери тепла с выходящими

изделиями, что свидетельствует об интенсивном процессе охлаждения садки.

Таким образом, на основе анализа данных теплотехнологического обследования туннельной печи для обжига керамических изделий выявлены места и причины производственных теплопотерь и нарушения в наладке оборудования. По результатам обследования были даны рекомендации по регулировке оборудования, реализация которых позволила снизить удельный расход тепла и количество брака.

Теоретическая и практическая значимость данной работы заключается в том, что данное исследование позволяет выявить реальные причины неудовлетворительной работы печи и найти возможность устранения брака кирпича и снижения удельного расхода тепла на производство [7].

#### Список литературы

1. Левченко П.В. Расчет печей и сушил силикатной промышленности. М.: Высшая школа, 1968. 363 с.
2. Баренбойм А.М., Галиева Т.М. и др. Тепловые расчеты печей и сушилок силикатной промышленности. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1964.
3. Гинзбург Д.В. и др. Печи и сушилки силикатной промышленности. М.: Гостройиздат, 1963. 343 с.
4. Торчинский А.И., Поляков Т.Н. Опыт освоения скоростных горелок серии ГС конструкции НИИСМИ на туннельных печах обжига керамического кирпича // *Строительные материалы и изделия*. 2001. № 5–6.
5. Курносов В.В., Милосердов А.В., Ярошок М.М. Опыт применения систем отопления с широким диапазоном регулирования при модернизации и строительстве керамических производств // *Строительные материалы*. 2004. № 2. С. 24–25.
6. Бегунов Н.П., Грунский В.П. Реализация энергосберегающих технологий в печах «Термогаз» // *Строительные материалы*. 2003. № 2. С. 28–29.
7. Технический отчет по техническому руководству и оказанию технической помощи при освоении и первичной наладке теплового режима, составлению технического паспорта туннельной печи импортной поставки для обжига кирпича на заводе строительных материалов (на трех режимах) ПО «Ижевский радиозавод». Договор № 853 от 03.12.1991. Ростов-н/Д, 1992. 54 с.

#### References

1. Levchenko P.V. Raschet pechei i sushil silikatnoi promyshlennosti [Calculation of drying ovens and silicate industry]. Moscow: Vysshaya shkola. 1968. 363 p.
2. Barenboim A.M., Galieva T.M. i dr. Teplovye raschety pechei i sushilok silikatnoi promyshlennosti [Thermal calculations furnaces and driers silicate industry. 2nd edition, revised and enlarged.] Moscow: Stroyizdat. 1964.
3. Ginzburg D.V. i dr. Pechi i sushila silikatnoi promyshlennosti [Furnaces and driers silicate industry]. Moscow: Promstroizdat. 1963. 343 p.
4. Torchinskii A.I., Polyakov T.N. Experience in the development of high-speed burners Series GS NIISMI design of tunnel kiln firing ceramic bricks. *Stroitel'nye materialy i izdeliya*. 2001. No. 5–6. (In Belarus).
5. Kurnosov V.V., Miloserdov A.V., Yaroshok M.M. Experience in the use of heating systems with wide range of the modernization and construction of ceramic production. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 2, pp. 24–25. (In Russian).
6. Begunov N.P., Grunskii V.P. Implementation of energy-saving technologies in the ovens "Termogaz". *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2003. No. 2, pp. 28–29. (In Russian).
7. Technical report on the technical guidance and technical assistance during the development and initial commissioning of the thermal regime, preparation of technical certificates tunnel furnace import, roasting brick factory building materials (three modes) ON "Izhevsk radio factory." Contract № 853 from 03.12.1991. Rostov-on-Don. 1992. 54 p.



**Комплексные  
теплотехнологические обследования  
тепловых агрегатов**

117513, Москва, ул. Академика Бакулева, д. 14

+7 (495) 585-31-78

25111976@list.ru

**www.eps-nk.ru**

Реклама

УДК 666.7:658.567.1

А.Ю. СТОЛБОВУШКИН<sup>1,2</sup>, д-р техн. наук (stanyr@list.ru), О.А. ФОМИНА<sup>2</sup>, канд. техн. наук, Д.В. АКСТ<sup>2</sup>, инженер, А.И. ИВАНОВ<sup>2</sup>, инженер; М.С. ДРУЖИНИН<sup>3</sup>, студент (dms95@mail.ru)

<sup>1</sup> Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе, Сибирское отделение Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 1)

<sup>2</sup> Сибирский государственный индустриальный университет (654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

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

## Получение декоративной стеновой керамики из глинистого сырья и отходов добычи марганцевых руд\*

Приведены результаты исследований по влиянию марганецсодержащих отходов на объемное окрашивание стеновой керамики в зависимости от способа изготовления изделий. Определена палитра результирующих кодов цвета (по аддитивной системе цветопередачи RGB) керамических образцов из глинистого сырья при различном содержании добавки отходов добычи марганцевых руд в составе шихты. Выявлено выраженное усиление окраски керамических изделий матричной структуры при введении опудривающей добавки отходов, содержащих  $MnO_2$ , в количестве 5–10 мас. % по сравнению с образцами пластического формования. Установлено, что формирование керамического матричного композита обеспечивает концентрацию красящего компонента в матрице и исключает его негативное воздействие на спекание глиняных гранул при обжиге.

**Ключевые слова:** декоративные стеновые материалы, марганецсодержащие отходы, компрессионное формование, керамические матричные композиты.

A.Yu. STOLBOUSHKIN<sup>1,2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (stanyr@list.ru), O.A. FOMINA<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), D.V. AKST<sup>2</sup>, Engineer, A.I. IVANOV<sup>2</sup>, Engineer; M.S. DRUZHININ<sup>3</sup>, Student (dms95@mail.ru)

<sup>1</sup> Institute of Thermophysics named after S.S. Kutateladze SB RAS (1, Lavrentev Lane, Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

<sup>2</sup> Siberian State Industrial University (42, Kirov Street, Kemerovo Region, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation)

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

### Production of Decorative Wall Ceramics from Argillous Raw Material and Wastes of Manganese Ore Mining\*

The results of studies on the effect of the manganese containing wastes on the volumetric colouring of wall ceramics depending on the method of product manufacturing. The palette of resulting colour codes is defined (by the additive RGB color system) for ceramic samples from clay raw materials at various additive contents of manganese ore mining wastes in the mixture composition. A substantial coloring enhancement of ceramic products with matrix structure occurs due to the introduction of powdering additive of wastes containing  $MnO_2$  in the amount of 5–10 wt. %, compared with the samples produced by plastic moulding. It is established that the formation of a ceramic matrix composite provides a concentration of the coloring component in the matrix and prevents its negative influence on the sintering of clay granules during firing.

**Keywords:** decorative wall materials, manganese containing wastes, compression moulding, ceramic matrix composites.

По сравнению с архитектурой 80–90-х гг. облик большинства российских городов во втором десятилетии XXI в. значительно изменился. В немалой степени этому способствовало нетиповое строительство и комплексная эшелонированная застройка. Новые подходы наряду с пластикой форм и фасадов современных зданий требуют увеличения производства мелкоштучных стеновых материалов [1]. Среди них керамический кирпич по праву является одним из самых популярных, поскольку обладает ценными качествами, от высокой прочности и морозостойкости до экологичности и архитектурной выразительности. В привлекательности для потребителя не последнюю роль играет цветовая гамма кирпича [2, 3].

Для получения различной нестандартной окраски лицевой и декоративной стеновой керамики используют различные технологии (ангобирование, глазурирование и др.) и технологические приемы (снижение температуры обжига, изменение окислительной среды обжига на восстановительную и т. д.) [4]. Однако основным все же является объемное окрашивание красножгущихся керамических масс введением тугоплавкого светложгущегося глинистого сырья [5], различных минеральных добавок (мел, доломит, известняк) или цветообразующих оксидов металлов ( $Fe_2O_3$ ,  $MnO_2$ ,  $TiO_2$  и др.).

Как правило, производство концентрированных керамических пигментов требует больших финансовых затрат, связано с высокотемпературным синтезом и необходимостью использовать дорогое, высокосортное сырье [6]. Среди требований, предъявляемых к сырьевым материалам для окрашивания керамики, наряду с постоянством химического состава наиболее значимым является наличие соединений, способных образовывать устойчивые кристаллические структуры в процессе обжига [7, 8].

В последние годы проводятся активные поиски по его замене на альтернативные нетрадиционные сырьевые материалы – техногенные отходы, содержащие в своем составе красящие оксиды металлов [9, 10]. Причинами медленного освоения техногенного сырья в производстве стеновой керамики являются нестабильность его состава и свойств, а также недостаточная изученность физико-химических процессов, протекающих при обжиге такого сырья [11, 12]. Учитывая ежегодные многомиллионные пополнения минеральных промышленных отходов [13], их использование в производстве декоративной стеновой керамики не только снизит значительные затраты на импорт окрашивающих добавок, но и улучшит экологическую обстановку промышленных регионов, что является актуальной задачей [14].

\* Исследования проведены при финансовой поддержке Федерального фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках программы «У.М.Н.И.К.-2015» (договор № 0015495).

\* Investigations were carried out with the financial support of the Federal Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises in Science and Technology within the program "U.M.N.I.K.-2015" (contract number 0015495).



Рис. 1. Окрашивание керамических образцов из суглинка, изготовленных способом пластического формования (а); полусухого прессования (б); компрессионного формования опудренных гранул (в): 1 – без добавки; 2, 3, 4 – с добавкой ОМР соответственно в количестве 2, 5, 10 мас. %

Цель настоящего исследования заключалась в изучении влияния отходов добычи марганцевых руд на окрашивание стеновых керамических материалов в зависимости от способа изготовления изделий.

В качестве основного сырья использовался суглинок новокузнецкий, который относится к полукислому, умеренно пластичному, легкоплавкому глинистому сырью каолинит-монтмориллонит-гидро-слюдистого типа с низким содержанием крупнозернистых включений. В роли окрашивающей добавки выступали отходы добычи марганцевых руд (ОМР) Селезенского месторождения Кемеровской области с прогнозными запасами 11,8 млн т. Химический и гранулометрический составы сырьевых материалов приведены в табл. 1, 2.

В соответствии с целью работы при постановке эксперимента различными способами были изготовлены три серии керамических образцов: первая серия – пластическим формованием глиномассы; вторая серия – полусухим прессованием пресс-порошков; третья серия – запатентованным способом компрессионного формования опудренных гранул [15].

Для получения объемно-окрашенных образцов готовилась двухкомпонентная шихта, включающая суглинок и отходы добычи марганцевых руд; для контрольных образцов использовался чистый суглинок без добавки. Содержание ОМР в шихте последовательно изменялось от 0 до 10 мас. %, и их соотношение к суглинку было одинаковым во всех трех сериях образцов. Ранее было показано, что увеличение в шихте количества красящей добавки, содержащей цветообразующий оксид  $MnO_2$ , свыше 10% нецелесообразно [10]. Состав сырьевых смесей для приготовления трех серий керамических образцов приведен в табл. 3.

При изготовлении первой серии образцов пластическим способом глинистое сырье высушивалось в сушильном шкафу до остаточной влажности 2–3% и измельчалось на лабораторных бегунах до полного прохождения через сито № 0,63 мм. Отходы обогащения марганцевых руд молотились в стержневой мельнице до тонины помола 0,1–0,2 мм. Измельченные компоненты шихты тщательно перемешивались и увлажнялись до состояния пластичной массы формовочной влажностью 25–27%. После вылеживания в течение суток из глиняного теста при помощи формовочной рамки формовались образцы-кубы с ребром 45 мм. Образцы сушились при температуре до 105°C и обжигались в

Таблица 1

Сырьевой компонент	Массовая доля компонентов на высушенное вещество, %									
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	MgO	CaO	R <sub>2</sub> O	ППП
Суглинок новокузнецкий	62,85	0,85	14,17	4,91	–	0,45	2,38	4,44	3,8	5,4
Отходы добычи марганцевых руд (проба 1)	33,6	–	11,9	12,5	24,5	–	2,2	0,59	12,4	
Отходы добычи марганцевых руд (проба 2)	30,3	–	10,6	12,9	29,2	–	2,3	0,65	11,7	

Таблица 2

Сырьевой компонент	Содержание фракций в %, размер частиц в мм				
	>0,06	0,06–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
Суглинок новокузнецкий	–	2,6	62,15	4,18	28,17
Отходы добычи марганцевых руд (проба 1)	32,98	39,75	11,71	13,42	2,14
Отходы добычи марганцевых руд (проба 2)	38,52	37,16	9,5	12,87	1,95

Таблица 3

Сырьевой компонент	Содержание компонента в составе шихты для 1-й, 2-й, 3-й серий керамических образцов, мас. %			
	1-й состав	2-й состав	3-й состав	4-й состав
Суглинок новокузнецкий	100	98	95	90
Отходы добычи марганцевых руд	–	2	5	10

лабораторной муфельной печи по ступенчатому режиму с выдержкой при температуре 1000°C в течение 1 ч. Внешний вид керамических образцов показан на рис. 1, а.

Для прессования второй серии образцов полусухим способом сырьевые компоненты шихты подготавливались аналогичным образом. Вода в шихту вводилась из расчета 10% влажности, при этом для ее выравнивания и гомогенизации смеси материал перетирался через проволочное сито с размером ячейки 1,2 мм. Фактическая влажность приготовленных пресс-порошков составляла 9–11%. Прессование образцов-цилиндров диаметром 45 мм и высотой 40–50 мм осуществлялось на лабораторном гидравлическом прессе при давлении 15–17 МПа. Режим прессования двухступенчатый с односторонним приложением нагрузки. Сушка и обжиг проводились при параметрах и режимах, аналогичных первой серии, внешний вид образцов показан на рис. 1, б.

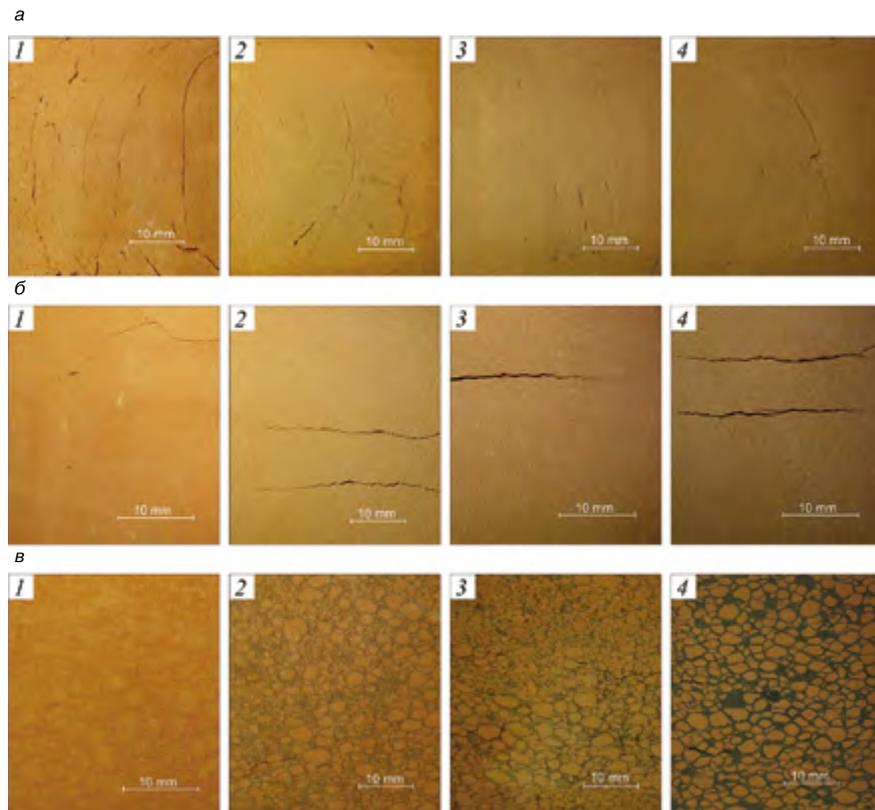
Для приготовления третьей серии образцов измельченное глинистое сырье агрегировалось в турболопастном смесителе-грануляторе при одновременном увлажнении до формовочной влажности 11–13%. Угловая скорость вращения лопастной мешалки гранулятора составляла 15–20 с<sup>-1</sup>. Грануляция суглинка проводилась в течение 2,5–3 мин до формирования гранул преимущественного размера 1–3 мм. Далее вводилась опудривающая добавка из тонкомолотых ОМР и осуществлялось дополнительное вращение барабана продолжительностью 20–30 с для формирования красящего слоя по поверхности гранул. Фактическая влажность опудренного гранулята составила 10–12%.

Из загранулированных шихт с различным содержанием красящей опудривающей добавки (0–10 мас. %) формовались образцы-цилиндры диаметром 45 мм и высотой 45–55 мм. Для получения сопоставимых результатов режимы их прессования, сушки и обжига соответствовали параметрам изготовления второй серии изделий, внешний вид полученных образцов показан на рис. 1, в.

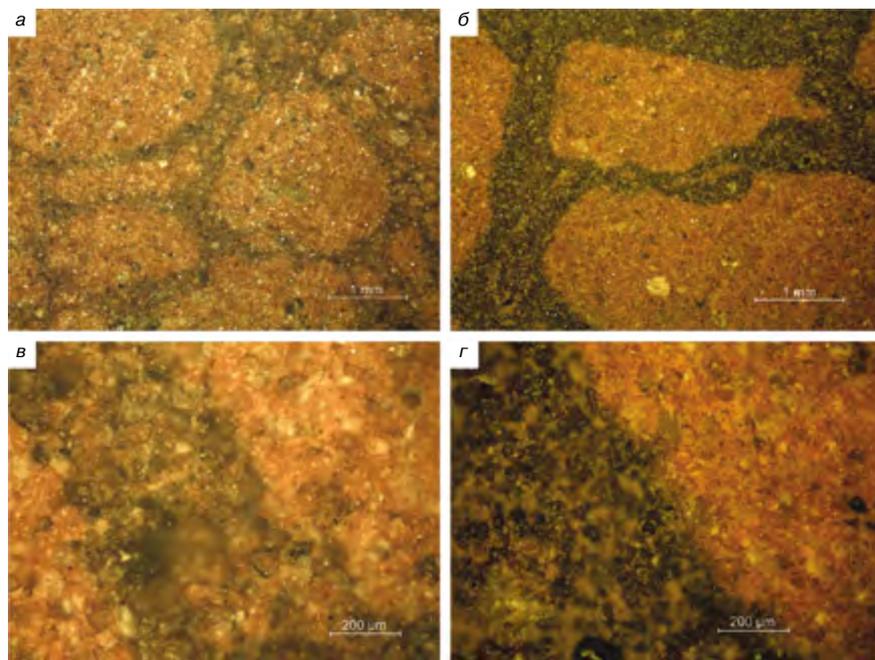
Во всех сериях (1–3) тонкомолотая добавка ОМР в состав шихты приводит к окрашиванию образцов в различные оттенки красно-коричневой области спектра, что объясняется высоким содержанием четырехвалентного оксида марганца в химическом составе отходов (табл. 1), широко известного в качестве красящего пигмента при изготовлении декоративной керамики. За исключением третьей серии ошутимое изменение окраски образцов, обожженных при 1000°C, наблюдается только при 10 мас. % марганцевых отходов. Это связано с тем, что реальная концентрация MnO<sub>2</sub> в материале не

превышает 0,5–1% при равномерном распределении меньшего количества ОМР в шихте.

Цветовые оттенки образцов первых двух серий практически совпадают (рис. 1, а, б), и это свидетельствует, что выбор технологии пластического или полусухого прессования не оказывает принципиального значения на окраску изделий. Определяющими факторами здесь



**Рис. 2.** Макроструктура и объемная окраска керамических образцов из суглинка, изготовленных способом пластического формования (а); полусухого прессования (б); компрессионного формования опудренных гранул (в): 1 – без добавки; 2, 3, 4 – с добавкой ОМР соответственно в количестве 2, 5, 10 мас. %



**Рис. 3.** Матричная структура керамических образцов из гранулированного суглинка и опудривающей добавки отходов добычи марганцевых руд, аншлиф, отраженный свет, николи II, количество ОМР в составе шихты (мас. %): а, в – 2; б, г – 10

является количество окрашивающего компонента и его гомогенизация в сырьевой массе. Лабораторные исследования показывают, что недостаточно тщательное перетирание пресс-порошка, содержащего до 10 мас. % красящих отходов, приводит к неравномерной окраске и муаровым разводам на поверхности керамических образцов полусухого прессования [16].

В третьей серии образцов выраженное окрашивающее действие добавки проявляется уже при 5% содержании отходов добычи марганцевых руд в составе шихты, а при ее 10% количестве насыщенность цвета значительно возрастает до шоколадно-коричневого (рис. 1, в, поз. 3, 4). Полученные результаты согласуются с проведенными ранее исследованиями по объемному окраши-

ванию керамических матричных композитов из отходов углеобогащения и гематитсодержащей добавки [17].

Для объективной оценки объемного окрашивания полученных керамических образцов (рис. 1) установлены цветовая палитра и коды цвета в соответствии с общепринятыми в мировой практике аддитивной и шестнадцатеричной системами цветопередачи RGB. Результаты анализа представлены в табл. 4.

Изучение макроструктуры керамических образцов проводилось с использованием бинокулярной лупы по отшлифованной поверхности вертикального среза (рис. 2). Сравнительный анализ показывает, что объемное окрашивание образцов первых двух серий равномерное и практически совпадает между ними при одинаковом количестве вводимого модификатора цвета (рис. 2, а, б).

Можно отметить наличие характерных внутренних дефектов, обусловленных формированием изделий. Для «пластики» это трещины, связанные, на наш взгляд, с недооценкой реальной пластической прочности глиномасс и погрешностью в определении их оптимальной формовочной влажности. Характерные поперечные трещины расслаивания в образцах полусухого прессования вызваны прежде всего запрессовкой воздуха [20] вследствие нерационального гранулометрического состава пресс-порошка, полученного в лабораторных условиях из тонкоизмельченного сырья.

В керамических образцах третьей серии формируется матричная структура [12] с выраженной границей раздела фаз (рис. 2, в). Усиление окраски по сравнению с соответствующими образцами первых двух серий можно объяснить увеличением концентрации красящего оксида  $MnO_2$  на поверхности гранул, достигаемым в результате их опудривания марганецсодержащими отходами.

Существенное влияние количества добавки на насыщенность цвета объясняется увеличением толщины красящего слоя (матрицы керамического композита). При 2–5% содержании добавки ОМР в процессе накатывания в граничном слое происходит ее перемешивание с суглинком практически по всей толщине формирующегося граничного (красящего) слоя (рис. 3, а, б). При 10% количестве марганцевых отходов его толщина возрастает в два и более раз, и перемешивание с глинистой компонентой осуществляется только в приграничной зоне гранул (рис. 3, б, в). Таким образом, в центральной части граничного слоя смешивания практически не происходит, а концентрация  $MnO_2$  фактически будет соответствовать процентному содержанию по химическому составу отходов добычи марганцевых руд. Этим можно обосновать нелинейную зависимость эффекта изменения насыщенности цвета от количества опудривающей

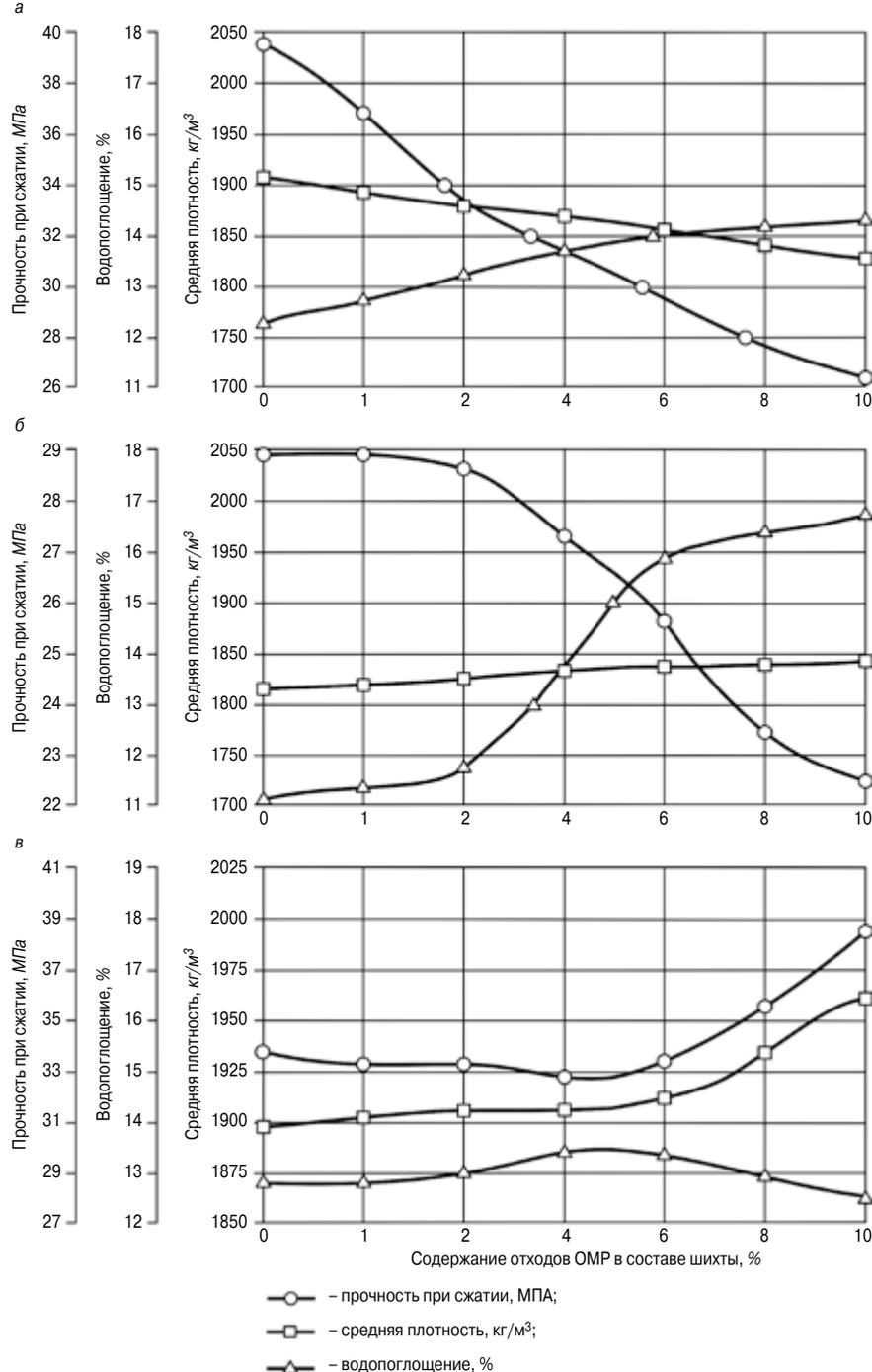


Рис. 4. Зависимость физико-механических свойств керамических образцов пластического формования (а); полусухого прессования (б) и компрессионного формования опудренных гранул (в) от количества отходов добычи марганцевых руд в шихте из новокузнецкого суглинка

**Таблица 4**

Номер образца в соответствии с рис. 1	Адаптированный цвет образца	Код цвета по модели RGB*			hex-код цвета**
		R	G	B	
a-1		185	98	55	#B96237
a-2		202	136	86	#CA8856
a-3		183	137	88	#B78958
a-4		128	101	71	#806547
б-1		180	86	52	#B45634
б-2		192	125	83	#C07D53
б-3		167	119	73	#A77749
б-4		114	88	71	#725847
в-1		179	89	37	#B35925
в-2		144	85	41	#905529
в-3		111	66	35	#6F4223
в-4		56	42	29	#382A1D

\* Код цвета керамических образцов по аддитивной системе цветопередачи RGB в соответствии с численными значениями интенсивности базовых цветов (красного – R; зеленого – G; синего – B) [18].  
 \*\* Результирующий hex-код цвета в шестнадцатеричной системе счисления, сформированный путем сложения базовых цветовых уровней в формате #RRGGBB [19].

личества тонкодисперсной добавки отходов добычи марганцевых руд на спекание керамических образцов из новокузнецкого суглинка, изготовленных различными способами, представлена на рис. 4.

Сопоставление экспериментальных значений основных свойств керамических изделий (табл. 5, рис. 4) показало уменьшение в среднем более чем на одну треть прочности при сжатии в первой и второй сериях образцов с ростом количества добавки марганецсодержащих отходов до 10% (при пластическом формовании в  $\approx 1,5$ , при полусухом прессовании в  $\approx 1,28$  раза). Одновременно с этим при незначительных изменениях средней плотности образцов происходит увеличение их водопоглощения, особенно выраженное для образцов полусухого прессования (в  $\approx 1,45$  раза), что свидетельствует о негативном влиянии модификатора цвета на спекание глинистого сырья при обжиге. Установленные зависимости (рис. 4, а, б) показывают, что введение в шихту красящих отходов в количестве более 4–5 мас. % нежелательно при использовании классической технологии пластического или полусухого прессования. Однако такое количество добавки ОМР фактически не приводит к заметному объемному окрашиванию керамического материала (рис. 1, а, б) и ставит под сомнение целесообразность ее применения.

**Таблица 5**

Содержание ОМР в шихте, мас. %	Воздушная усадка, %	Огневая усадка, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	ККК
Пластическое формование						
–	9,8	2,8	1908	39,4	12,3	20,7
2	10,1	2,3	1879	33,6	13,2	17,9
5	9,9	2,4	1861	30,4	13,9	16,3
10	10,9	2,6	1833	26,4	14,3	14,4
Полусухое прессование пресс-порошков						
–	1,4	0,9	1812	28,9	11,1	15,9
2	1,3	0,8	1831	28,7	11,7	15,7
5	1,2	0,6	1844	26,6	14,2	14,4
10	0,9	0,6	1846	22,5	16	12,2
Компрессионное формование опудренных гранул						
–	1,6	1,4	1895	33,9	12,8	17,9
2	1,4	1	1906	33,2	13	17,4
5	1,2	0,9	1906	32,9	13,4	17,3
10	1	0,9	1962	38,6	12,5	19,7

(красящей) добавки при изготовлении декоративной керамики матричной структуры. Несложные расчеты показывают, что при добавке 5 мас. % ОМР усредненная концентрация MnO<sub>2</sub> в граничном слое превысит 10%, а при добавке 10 мас. % ОМР – теоретически может достигать до 25% в центральной части матрицы между гранулами (табл. 1).

Вводимые модификаторы цвета обычно влияют не только на внешний вид керамики, но и на ее физико-механические свойства и, как правило, ухудшают их [10]. Поэтому в процессе изучения влияния добавки на декоративные качества материала важно контролировать прочностные характеристики и спекание керамических изделий.

Физико-механические свойства образцов всех трех серий приведены в табл. 5. Зависимость влияния ко-

стик. Напротив, по сравнению с контрольными образцами без добавки опудривание глиняных гранул тонкодисперсными ОМР в количестве 8–10% от состава шихты обеспечивает повышение прочности и снижение водопоглощения отпрессованных и обожженных образцов.

Установленные зависимости свидетельствуют о нормальном протекании процессов спекания глиняных гранул, «не испорченных» изнутри марганецсодержащими отходами, при обжиге образцов третьей серии. Прямые методы исследования внутреннего строения ядер керамического матричного композита (рис. 3, в, г) показывают наличие равномерно-зернистой структуры с образованием стеклофазы и характерную гематитовую окраску, возникающую при обжиге красножгутивых кирпичных глин.

Таким образом, концентрация красящего компонента в матрице по поверхности гранул исключает его негативное воздействие на глинистое сырье, обычно наблюдаемое в технологии объемного окрашивания стеновой керамики с использованием пигментов – модификаторов цвета.

#### Выводы

- добавка отходов добычи марганцевых руд (ОМР) в глинистое сырье в количестве 5–10 мас. % обеспечивает объемное окрашивание керамических образцов в палитру коричневого цвета в соответствии с аддитивной и шестнадцатеричной системой цветопередачи RGB;

#### Список литературы

1. Шлегель И.Ф., Шлегель Я.И. Классификация изделий керамических облицовочных // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 66–69.
2. Ашмарин А.Г., Мустафин Н.Р., Опарина И.С. Колористические исследования влияния минеральных добавок на цветовую гамму керамических изделий // *Строительные материалы*. 2006. № 2. С. 38–39.
3. Езерский В.А. Количественная оценка цвета керамических лицевых изделий // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 76–80.
4. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Веревкин К.А. Влияние окислительно-восстановительных условий обжига на фазовый состав железа и цвет керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2011. № 8. С. 8–11.
5. Резник В.И. Возможности получения кирпича облицовочного и клинкерного светлых тонов на базе глин ПГ «Кислотоупор» // *Строительные материалы*. 2011. № 4. С. 54–56.
6. Седельникова М.Б., Лисеенко Н.В., Погребенков В.М. Пигменты на основе двухкальциевого силиката для окрашивания строительной керамики // *Строительные материалы*. 2012. № 8. С. 25–27.
7. Седельникова М.Б. Критерий использования природного минерального сырья для получения керамических пигментов // *Техника и технология силикатов*. 2011. Т. 18. № 1. С. 15–18.
8. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Филатова Е.В., Боляк В.И., Веревкин К.А. Влияние химического и фазового состава на цвет керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2008. № 4. С. 31–33.
9. Шукина Л.П., Любова Е.В., Билан И.В., Картавенко М.Ф. Использование техногенных отходов для получения лицевого керамического кирпича // *Строительные материалы*. 2010. № 8. С. 28–30.
10. Столбоушкин А.Ю. Улучшение декоративных свойств стеновых керамических материалов на основе техногенного и природного сырья // *Строительные материалы*. 2013. № 8. С. 24–32.
11. Верещагин В.И., Бурученко Е.А., Кашук И.В. Возможности использования вторичного сырья для получения строительной керамики и ситаллов // *Строительные материалы*. 2000. № 7. С. 20–23.
12. 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.
13. Аксенов А.М., Садыков Р.К. О нерешенных проблемах масштабного использования техногенных месторождений для производства строительных материалов. *Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии. Международная научно-техническая конференция*. Казань: КазГАСУ, 2010. С. 98–100.

- установлено отрицательное влияние добавки ОМР на физико-механические свойства керамических изделий, изготовленных по классической технологии пластического формования или полусухого прессования кирпича;
- на примере использования ОМР для объемного окрашивания изделий установлено, что способ изготовления керамических стеновых материалов матричной структуры обеспечивает выраженное усиление окраски, концентрацию красящего компонента в матрице и по большей части исключает его негативное воздействие на глиняный компонент заполнителя при обжиге.

#### References

1. Schlegel I.F., Shlegel Ya.I. Classification of ceramic facing products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2011. No. 4, pp. 66–69. (In Russian).
2. Ashmarin A.G., Mustafin N.R., Oparina I.S. Colouristic study on the effect of mineral additives on the color scheme of ceramic products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2006. No. 2, pp. 38–39. (In Russian).
3. Ezerskiy V.A. Quantitive evaluation of color of ceramic facing products *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2015. No. 8, pp. 76–80. (In Russian).
4. Zubekhin A.P., Yatsenko N.D., Verevkin K.A. Influence of redox conditions of firing on the phase composition of iron and color of ceramic bricks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2011. No. 8, pp. 8–11. (In Russian).
5. Reznik V.I. Possibilities for production of facing and clinker bricks of light-colours from clays of PG “Kislotoupor”. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2011. No. 4, pp. 54–56. (In Russian).
6. Sedelnikova M.B., Liseenko N.V., Pogrebekov V.M. Pigments based on dicalcium silicate for coloring building ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2012. No. 8, pp. 25–27. (In Russian).
7. Sedelnikova M.B. Criterion of application of natural mineral raw materials in ceramic pigments production. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2011. Vol. 18. No. 1, pp. 15–18. (In Russian).
8. Zubekhin A.P., Yatsenko N.D., Filatova E.V., Bolyak V.I., Verevkin K.A. Influence of chemical and phase composition on the color of ceramic bricks. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2008. No. 4, pp. 31–33. (In Russian).
9. Shchukina L.P., Lubova E.V., Bilan I.V., Kartavenko M.F. Use of technogenic wastes for ceramic facing bricks production. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2010. No. 8, pp. 28–30. (In Russian).
10. Stolboushkin A.Yu. Improvement of decorative properties of ceramic wall materials based on technogenic and natural raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2013. No. 8, pp. 24–32. (In Russian).
11. Vereshchagin V.I., Buruchenko E.A., Kashchuk I.V. Possibility for application of recycled materials for production of building ceramics and glass-ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2000. No. 7, pp. 20–23. (In Russian).
12. Stolboushkin A.Yu., Berdov G.I., Vereshchagin V.I., Fomina O.A. Ceramic wall materials of matrix structure on the basis of non-caking low-plasticity technogenic and natural raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2016. No. 8, pp. 19–23. (In Russian).
13. Aksenov A.M., Sadykov R.K. On unsolved problems of large-scale use of technogenic deposits for production of building materials. *Achievements and problems of materials science and modernization of the construction industry: International scientific conference*. 2010. April 14–17. Kazan: KSUAE, pp. 98–100. (In Russian).



14. Дружинин С.В., Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И. Использование техногенных отходов в качестве минеральных добавок для объемного окрашивания керамического черепка. *Сырьевые ресурсы регионов и производство на их основе строительных материалов: Сборник статей Всероссийской научно-технической конференции*. Пенза, 2008. С. 14–16.
15. Патент РФ 2500647. *Сырьевая смесь для изготовления стеновой керамики и способ ее получения* / Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И., Иванов А.И., Бердов Г.И., Столбоушкина О.А. Заявл. 20.04.2012. Оpubл. 10.12.2013. Бюл. № 34.
16. Акт Д.В., Дружинин М.С., Столбоушкин А.Ю. Исследование влияния отходов обогащения марганцевых руд на объемное окрашивание керамических изделий. *Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России: Труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Новокузнецк: СибГИУ, 2016. С. 124–128.
17. Стороженко Г.И., Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И. Переработка углистых аргиллитов для получения керамического сырья и технологического топлива // *Строительные материалы*. 2015. № 8. С. 50–54.
18. Pascale D. A Review of RGB Color Spaces ...from xyY to R'G'B. Montreal.: The BabelColor Company. 2003. 35 p. [http://www.babelcolor.com/index\\_html\\_files/A%20review%20of%20RGB%20color%20spaces.pdf](http://www.babelcolor.com/index_html_files/A%20review%20of%20RGB%20color%20spaces.pdf)
19. McFarland D.S. CSS: The Missing Manual. California.: O'Reilly Media. 2015. 718 p.
20. Столбоушкин А.Ю., Дружинин С.В., Стороженко Г.И., Завадский В.Ф. Формирование рациональной структуры керамических изделий полусухого прессования из минеральных отходов Кузбасса // *Строительные материалы*. 2008. № 5. С. 95–97.
21. Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И., Иванов А.И., Сыромясов В.А., Акт Д.В. Рациональные способы массоподготовки сырья в технологии стеновой керамики компрессионного формования // *Строительные материалы*. 2016. № 4. С. 26–30.
14. Druzhinin S.V., Stolboushkin A.Yu, Ivanov A.I. Use of technogenic wastes as a mineral additive for bulk coloring of ceramic crock. *Raw materials resources and production of construction materials on their basis: proceedings of All-Russian Scientific conference*. October 2008. Penza: PDZ, pp. 14–16. (In Russian).
15. Patent of the Russian Federation 2500647. *Syr'evaya smes' dlya izgotovleniya stenovoi keramiki i sposob ee polucheniya* [Raw material mixture for the production of wall ceramics and the process of its preparation] / Stolboushkin A.Yu., Storozhenko G.I., Ivanov A.I., Berdov G.I., Stolboushkina O.A. Declared 20.04.2012. Published 10.12.2013. Bulletin No. 34. (In Russian).
16. Akst D.V., Druzhinin M.S., Stolboushkin A.Yu. Investigation of the effect of manganese ore tailings on the volumetric colouring of products. *Actual issues of the modern construction of industrial regions of Russia: proceedings of the All-Russian scientific conference with international participation*. October 18–20, 2016. Novokuznetsk: SibSIU. 2016, pp. 124–128. (In Russian).
17. Storozhenko G.I., Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I. Processing of coally argillites for production of ceramic raw materials and process fuel. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2015. No. 8, pp. 50–54. (In Russian).
18. Pascale D. A Review of RGB Color Spaces ...from xyY to R'G'B. Montreal.: The Babel Color Company. 2003. 35 p. [http://www.babelcolor.com/index\\_html\\_files/A%20review%20of%20RGB%20color%20spaces.pdf](http://www.babelcolor.com/index_html_files/A%20review%20of%20RGB%20color%20spaces.pdf)
19. McFarland D.S. CSS: The Missing Manual. California.: O'Reilly Media. 2015. 718 p.
20. Stolboushkin A.Yu., Druzhinin S.V., Storozhenko G.I., Zavadskiy V.F. Formation of rational structure of ceramic products of dry pressing from mineral wastes in Kuzbass. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2008. No. 5, pp. 95–97. (In Russian).
21. Stolboushkin A.Yu., Storozhenko G.I., Ivanov A.I., Syromyasov V.A., Akst D.V. Rational methods of the raw material preparation in production of wall ceramics by compression molding. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2016. No. 4, pp. 26–30. (In Russian).

**IX Международная конференция**

**НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ  
NTC-2017**

17–21 марта 2017 г.

Шарм-эль-Шейх, Египет

**Организаторы конференции**

Национальный исследовательский центр жилья и строительства (НБРС)

Египетско-российский университет (ERU)

Ижевский государственный технический университет

им. М.Т. Калашникова

Египетский союз инженеров



**Тематика конференции**

- Нанокompозиты в строительных материалах
- Нанотехнологии в строительстве
- Защита от пожара с помощью наночастиц
- Нанотехнологии в кондиционировании воздуха
- Наноструктурирующие материалы в архитектуре
- Производство лакокрасочных материалов с нанодобавками
- Нанотехнологии стекол и керамики
- Нанотехнологии для энергоэффективности в зданиях
- Моделирование нанокompозитов
- Модификация минеральных вяжущих наносистемами

Информационная поддержка – журнал «Строительные материалы»®

Сайт конференции: [http://inter.istu.ru/russian/nano\\_r.html](http://inter.istu.ru/russian/nano_r.html)



**Контактная информация в России**  
Профессор Григорий Иванович Яковлев  
ИжГТУ им. М.Т. Калашникова  
426069 Ижевск, ул. Студенческая, 7  
E-mail: gyakov@istu.ru

Тел.: 8-91285666688. Факс: +7(3412)59 25 55

**Контактная информация в Египте**  
Профессор Шериф Солиман Хелми  
Египетско-российский университет  
Cairo High Road, Bard City-Suez  
E-mail: president@eruegypt.com

Тел.: +20(02)28643349, (02)28643341. Факс: +20(02)28643332



## К 80-летию Владимира Берковича Рабиновича, главного инженера ОАО «НИИСтроммаш»

13 февраля 2017 г. исполняется 80 лет со дня рождения главного инженера ОАО «НИИСтроммаш» Владимира Берковича Рабиновича. Более полувека назад пришел он в нашу отрасль, успешно поработав перед этим в области текстильного машиностроения. За это время под его руководством создано большое число машин и автоматических линий по производству кирпича, кровельных материалов, изделий из гипса и бетона. Более тридцати лет Владимир Беркович руководит созданием современных автоматических линий для производства керамического кирпича и керамических изделий, которые начаты институтом еще в советское время совместно с фирмами Италии, Франции и Болгарии. Были построены десятки новых автоматизированных кирпичных заводов мощностью от 30 до 75 млн шт. усл. кирпича в год. В настоящее время Владимир Беркович занимается созданием современных автоматических линий для реконструкции действующих кирпичных заводов. Под его руководством внедрено около сорока автоматических линий на различных технологических участках кирпичных заводов, в том числе тринадцать — для разгрузки высушенных изделий из туннельных и камерных сушилок и садки их на печные вагонетки.

Он лично прорабатывает на компьютере основные конструкторские и компоновочные решения, в частности и для размещения современного оборудования в существующих помещениях. Владимир Беркович — автор более ста печатных работ и изобретений. Награжден медалями и дипломами ВДНХ.

Сердечно поздравляем Владимира Берковича, желаем ему крепкого здоровья и счастья. Надеемся, что мы еще долго будем работать с ним в одном коллективе.

Сотрудники ОАО «НИИСтроммаш»

**Редакция журнала «Строительные материалы»® и участники проекта КЕРАМТЭКС присоединяются к поздравлениям и желают Владимиру Берковичу Рабиновичу всех благ и процветания.**

## Некоторые вопросы модернизации действующих кирпичных заводов

В отрасли по производству стеновых материалов до настоящего времени работают десятки кирпичных заводов с устаревшим морально и физически оборудованием. На некоторых еще эксплуатируют кольцевые печи Гофмана. Естественно, такие предприятия не могут выпускать конкурентоспособную продукцию, и если они хотят выжить в условиях жесткого рынка, должны проводить кардинальную модернизацию.

За последние годы институтом «НИИСтроммаш» выполнена полная реконструкция около сорока технологических участков, от массопереработки до разгрузки обожженного кирпича и укладки его на поддоны (включая сушку и обжиг кирпича).

Модернизация оборудования тормозится финансовыми проблемами, связанными с трудностью сбыта (из-за сокращения объектов строительства и существенного уменьшения количества кирпича в общем объеме используемых стеновых материалов), а также с высокой процентной ставкой и сложностью получения кредитов. Тем не менее в 2016 г. на Чебоксарском заводе «Стройкерамика» нами сданы в эксплуатацию две автоматические линии мощностью по 30 млн шт. усл. кирпича в год для резки и укладки кирпича-сырца, выгрузки его после сушки и садки на печные вагонетки. Дополнительно введена автоматизированная система из конвейеров и манипуляторов для накопления сушильной оснастки и передачи ее после разгрузки высушенных изделий от любой линии садки к любой из линий резки и укладки сырца.

Два года работает на Таганрогском кирпичном заводе автоматическая линия послышной разгрузки обожженного кирпича, укладки его на поддоны и упаков-

ки. Более трех лет работают в Стерлитамаке модернизированные автоматические линии резки и укладки, разгрузки и садки кирпича с контуром сушильного спецтранспорта вагонеток (первые такие линии НИИСтроммаш также успешно работают там почти десять лет).

Четыре года назад сданы в эксплуатацию модернизированные автоматические линии разгрузки и садки кирпича на Рузавском заводе керамических изделий и Шахтинском кирпичном заводе (вторая такая же линия в г. Шахты работает успешно более восьми лет). На Краснодарской фабрике керамических изделий нами пять лет назад сдана в эксплуатацию автоматическая линия для разгрузки высушенного кирпича и садки его на печные вагонетки.

Проработаны также различные варианты автоматических линий пакетной и послышной разгрузки печных вагонов и обвязки поддонов с кирпичом. Системы управления выполнены на базе компьютерной техники и современных программируемых контроллеров. Вместо пультов во многих случаях используются панели оператора. Программное управление через панели оператора позволяет задавать любую раскладку кирпича или камня для каждого из слоев обжигаемого пакета кирпича. Во всех механизмах используются электро- и пневмоприводы с элементами робототехники.

Разработанное, поставленное и отлаженное специалистами НИИСтроммаш оборудование работает в автоматическом режиме с проектными показателями.

Главный инженер ОАО «НИИСтроммаш»  
В.Б. Рабинович

А.М. САЛАХОВ<sup>1,4</sup>, канд. техн. наук (salakhov8432@mail.ru); В.П. МОРОЗОВ<sup>2</sup>, д-р геол.-мин. наук; О.Н. ЛИС<sup>1,3</sup>, студент; М.В. ПАСЫНКОВ<sup>1,3</sup>, студент

<sup>1</sup> Казанский федеральный университет. Институт физики (420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18)

<sup>2</sup> Казанский федеральный университет. Институт геологии и нефтегазовых технологий

<sup>3</sup> Казанский федеральный университет. Центр квантовых технологий

<sup>4</sup> ОАО «Алексеевская керамика» (422900, Республика Татарстан, п. г. т. Алексеевское, ул. Кирпичнозаводская, 10)

## Керамические материалы из легкоплавких глин, модифицированных промышленными отходами предприятий нефтехимического комплекса

Показана возможность производства стеновых керамических материалов с высокими прочностными характеристиками путем модификации легкоплавких глин. В качестве модификаторов использованы отходы нефтехимических предприятий Республики Татарстан. Изучены структура и минеральный состав получаемых материалов. Выпущена опытная партия кирпича на одном из кирпичных заводов. Произведено сопоставление характеристик керамического камня клинкера из опытной партии и клинкера зарубежного производства, поставляемого по импорту. Показано, что по структуре, вещественному, минералогическому составу и физико-техническим характеристикам материалы весьма схожи, что открывает возможности импортозамещения. Показано, что применение модификаторов на основе попутных продуктов нефтехимических производств может оказать существенное положительное влияние на снижение энергоемкости производства стеновой керамики и повышение ее конкурентоспособности.

**Ключевые слова:** керамика, фазовый анализ, техногенные модификаторы, клинкер, температура обжига, конкурентоспособность отечественных материалов.

A.M. SALAKHOV<sup>1,4</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (salakhov8432@mail.ru); V.P. MOROZOV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy); O.N. LIS<sup>1,3</sup>, Student, M.V. PASYNKOV<sup>1,3</sup>, Student

<sup>1</sup> Kazan Federal University. Institute of Physics (18, Kremlyovskaya Street, 420008, Kazan, Russian Federation)

<sup>2</sup> Kazan Federal University. Institute of Geology and Petroleum Technologies

<sup>3</sup> Kazan Federal University. Quantum Technologies Center

<sup>4</sup> ОАО «Алексеевская керамика» (10, Kipichnozavodskaya Street, town settlement Alekseevskoye, Republic of Tatarstan, 422900, Russian Federation)

### Ceramic Materials of Low-Melting Clays Modified with Industrial Waste of Petrochemical Complex Enterprises

The possibility to produce wall ceramic materials with high strength characteristics by means of modification of low-melting clays is shown. The waste of petrochemical enterprises of the Republic of Tatarstan is used as modifiers. The structure and mineral composition of the materials produced have been studied. A pilot batch of brick was manufactured at one of the brick factories. A comparison of characteristics of ceramic stone of clinker from the pilot party with the foreign clinker supplied by import is made. It is shown that structures, material, mineralogical compositions and physical-technical characteristics of both materials are very similar that opens the possibility of import substitution. It is shown that the use of modifiers on the basis of co-products of petrochemical plants can significantly and positively influences on reducing the energy consumption of wall ceramic production and improving its competitiveness.

**Keywords:** ceramics, phase analysis, anthropogenic modifiers, clinker, burning temperature, competitiveness of domestic materials.

Интенсивное расширение номенклатуры продукции предприятиями нефтехимического комплекса Российской Федерации привело к появлению новых отходов промышленного производства. За последние годы в Республике Татарстан введены в строй новые мощности по органическому синтезу (г. Нижнекамск), в составе ОАО «Татнефть» начал работу завод по производству стекловолокна (г. Елабуга). В процессе работы данных высокотехнологических предприятий образуются отходы, обладающие рядом свойств, в том числе высокой дисперсностью, преимущественным содержанием химических элементов с невысокой атомной массой, таких как алюминий и кремний в виде оксидов. Эти обстоятельства позволили предположить, что подобные отходы могут быть использованы как модификаторы легкоплавких глин. Кроме того, наши наработки позволяли ожидать эффект значительного снижения энергоемкости процесса производства керамических материалов (изделий) за счет введения таких отходов.

За последние годы накопился значительный опыт производства и применения лицевого керамического кирпича. Большинство предприятий производит лицевой кирпич с пустотами с прочностью при сжатии на

уровне 10–15 МПа. В ряде случаев использование такой продукции требует радикального повышения характеристик прочности. С другой стороны, традиционный процесс производства приводит к серьезным дефектам, вызванным попаданием влаги в пустоты. Проблема усугубляется тем, что большинство месторождений Поволжского региона представлено легкоплавкими глинами, которые при стандартном обжиге (950–1050°C) не формируют керамический камень достаточной прочности, а при повышении температуры обжига на 70–80°C отмечается значительная огневая усадка. При температуре обжига 1150°C изделия из глин многих месторождений начинают терять форму.

Использование отходов высокотехнологичных производств позволяет принципиально решить данную проблему, однако наличие широкого спектра состава и структуры глин и модификаторов требуют комплексных исследований как самих глин, так и их комбинаций с модификаторами.

За многовековую историю накоплен значительный опыт применения в технологии керамики самых различных минеральных отходов различных отраслей промышленности. Для наших исследований использованы

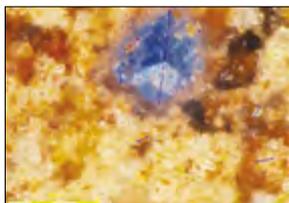


Рис. 1. Образец керамики из глины Алексеевского месторождения с 10% модификатора Z после обжига при 1170°C

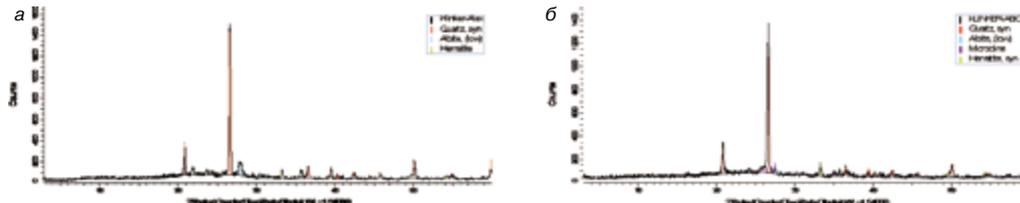


Рис. 2. Дифрактограмма керамического камня клинкера завода ОАО «Алексеевская керамика» (а) и фирмы ABC (б)

**Таблица 1**  
Характеристики керамических материалов, полученных из глин Сахаровского месторождения с модификатором Z. T<sub>обж</sub> = 1150°C

Содержание модификатора Z, %	2	5	8	10	12
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,24	2,14	2,11	1,98	1,94
Водопоглощение, %	1,4	3,6	4,2	6,5	7,8
Огневая усадка, %	4,6	5,7	3,9	2,8	2,5
Прочность при сжатии, МПа	109,6	112,4	107,9	105,3	104,2

**Таблица 2**  
Характеристики керамических материалов, полученных из суглинков Алексеевского месторождения с модификатором Z. T<sub>обж</sub> = 1170°C

Содержание модификатора Z, %	5	8	10	12	15
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,11	2,15	2,07	2,13	2,08
Водопоглощение, %	4,1	2,2	4,7	5,3	5,9
Огневая усадка, %	4,2	4,2	3,4	2,8	2,6
Прочность при сжатии, МПа	108,8	102,3	96,3	79,4	89,5

**Таблица 3**  
Сравнение минерального состава керамических материалов

	Аморфная фаза	Кварц	Альбит	Гематит
Клинкер фирмы ABC	74	20	3	3
Клинкер завода «Алексеевская керамика»	67	21	9	3

**Таблица 4**  
Сопоставление элементного состава участков клинкера завода «Алексеевская керамика» и немецкой фирмы ABC

	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
Клинкер завода «Алексеевская керамика»	64	1	1	5	25	1	1	2
Клинкер фирмы ABC	64	-	1	7	23	2	-	2

легкоплавкие глины Алексеевского, Сахаровского, Ключищинского, Хлыстовского и Буинского месторождений РТ, а также диатомит Шарловского месторождения Ульяновской области. К ним подобраны пять модификаторов (S, V, Z, X, НШ), представляющих собой различные отходы предприятий нефтехимического комплекса Республики Татарстан.

На ряде предприятий нефтехимического комплекса в процессе дегидрирования парафиновых углеводородов образуется отработанный алюмохромовый катализатор ИМ-2201 (отходы производства – ТУ 38.103544–89). Нами исследовалось влияние техногенного модификатора, полученного с завода ОАО «Нижекамскнефтехим» (далее **модификатор Z**); целесообразность использования его аналогов в керамике уже отмечалась в литературе [1, 2]. Только на заводе ОАО «Нижекамскнефтехим» ежегодно образуется 3 тыс. т таких отходов. Аналогичные отходы образуются и на Казанском заводе органического синтеза. В фазовом составе модификатора Z высокая доля рентгеноаморфной фазы. В составе кристаллической фазы 10% оксида хрома и 90% оксида алюминия двух разновидностей.

Глины Сахаровского месторождения при всех концентрациях модификатора Z при обжиге формируют высокопрочные изделия, однако достаточно высокая огневая усадка создает риск трещинообразования. С ростом доли модификатора в массе огневая усадка существенно снижается, а значит, снижается и риск трещинообразования. Отметим, что добавка модификатора одновременно снижает чувствительность керамических масс к сушке. Это особенно важно учитывать при производстве крупноформатных изделий.

В фазовом составе образца керамики из глины Сахаровского месторождения с 2% модификатора Z после обжига при 1150°C: аморфной фазы – 60, кварца – 20, гематита – 2, альбита – 9, пироксена – 9%.

Подобные закономерности отмечаются и с глинами некоторых других месторождений, например Алексеевского (табл. 2)

После обжига при 1170°C в фазовом составе образца керамики из глины Алексеевского месторождения с 10% модификатора Z содержание аморфной фазы 75, кварца – 13, полевых шпатов – 10, гематита – 1%. Оксид алюминия в фазовом составе не фиксируется, следовательно, он вступил во взаимодействие с другими компонентами керамической массы, что и объясняет повышение тугоплавкости.

Образец обладает высокой прочностью – 96,3 МПа, плотностью 2,07 г/см<sup>3</sup>, водопоглощением 1,7%, что вполне соответствует требованиям к керамическому клинкеру. В конфокальном микроскопе японской фирмы Meltec исследована структура образца, в которой идентифицируются конгломераты голубого цвета (следы модификатора Z), прозрачные зерна кварца размером до 5 мкм, темно-красные включения гематита, которые и определяют цвет образца (рис. 1).

Экономическая целесообразность производства керамических материалов с высокой долей рентгено-

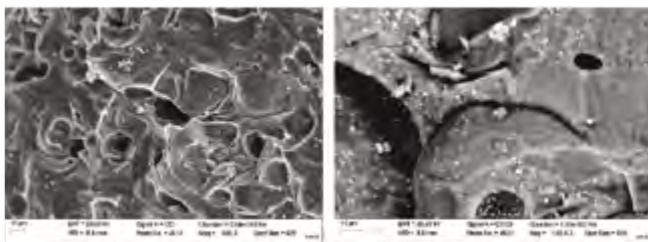


Рис. 3. РЭМ изображение керамического камня клинкера завода ОАО «Алексеевская керамика»

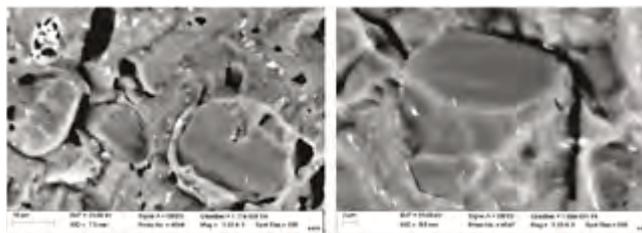


Рис. 5. РЭМ изображение фрагмента керамического камня клинкера немецкой фирмы ABC

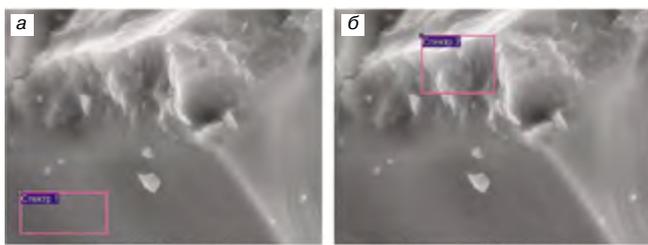


Рис. 4. РЭМ изображение клинкера завода ОАО «Алексеевская керамика». Элементный состав из рентгеновских спектров участков, обозначенных «Спектр 1», %: O – 73, Mg – 1, Al – 3, Si – 23 (a); «Спектр 2», %: O – 64, Na – 1, Mg – 1, Al – 5, Si – 20, K – 2, Ca – 4, Fe – 4 (б)

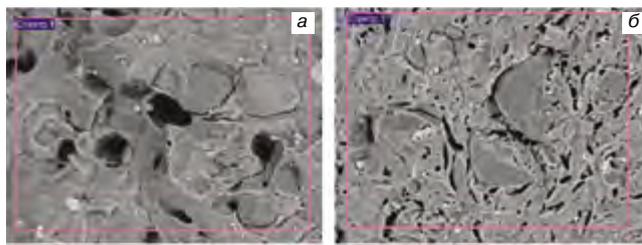


Рис. 6. РЭМ изображение фрагмента керамического камня клинкера завода «Алексеевская керамика» (a) и немецкой фирмы ABC (б)

Характеристики образцов, полученных с применением модификатора S. T<sub>обж</sub> = 1050°C

Содержание модификатора S, %	2	3	5
Глина Ключищинского месторождения			
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,83	1,88	1,91
Водопоглощение, %	11,5	9,9	6,5
Прочность при сжатии, МПа	44,2	45,9	70,5
Глина Сахаровского месторождения			
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,8	1,81	1,86
Водопоглощение, %	11,9	9,5	7
Прочность при сжатии, МПа	49,4	55	58,7

Таблица 5



Рис. 7. РЭМ изображение модификатора X – высокодисперсного отхода очистки фильтров завода стекловолокна

аморфной фазы, в том числе клинкера, неоднократно отмечалась отечественными исследователями [3, 4]. В работе [5] отмечается: «Импорт клинкерного кирпича всех видов в Россию рос непрерывно, начиная с 2009 г., увеличившись к 2013 г. до 42 млн шт. Если все производство стеновых керамических изделий в России в 2015 г. оценивалось в 7,78 млрд шт. условного кирпича, то производство клинкера составляет лишь 0,2% от этого объема, а весь рынок клинкерного кирпича – в пределах 0,5% от рынка стеновых керамических изделий».

Путем модификации глины Алексеевского месторождения техногенными отходами на заводе ОАО «Алексеевская керамика» получена пробная промышленная партия клинкера. Исследование фазового состава обожженного керамического камня (рис. 2, а) показало, что его минеральный состав практически идентичен керамическому камню клинкера известной немецкой фирмы ABC (рис. 2, б, табл. 3).

В процессе исследований структуры керамического камня клинкера завода «Алексеевская керамика» установлено:

- 1) структура материала плотная, размеры пор не превышают 10 мкм и носят замкнутый характер (рис. 3, а);
- 2) к реликтовым зернам кварца плотно примыкает аморфная фаза, образованная в результате плавления, что приводит к возникновению менисков (рис. 3, б), это свидетельствует о спекании с участием жидкой фазы;

3) образуемая в результате обжига аморфная фаза (рис. 4, а) проникает в кристаллическую структуру (рис. 4, б). В результате формируется единая монолитная конструкция высокой прочности.

Исследование структуры немецкого аналога клинкера демонстрирует практически идентичную структуру (рис. 5).

Сопоставление элементного состава макроскопических участков немецкого и отечественного клинкера демонстрирует близкие значения (рис. 6, табл. 4).

Характеристики обоих материалов тоже близки: прочность при сжатии превышает 100 МПа, водопоглощение – менее 2%.

Таким образом, в секторе стеновой керамики в Татарстане имеются все возможности для успешного импортозамещения. Важную роль играет снижение транспортных издержек, однако еще большее значение имеет снижение энергоемкости производства, которое достигается за счет снижения температуры обжига.

Снижение температуры обжига может быть достигнуто при использовании сырья с высоким содержанием аморфного кремнезема в сочетании с модификатором. Одним из таких модификаторов может быть высокодисперсный отход от производства стекловолокна (модификатор X). Модификатор X представляет собой продукт очистки электрофильтров, характеризуется частицами размером менее 1 мкм, в его структуре четко выделяются (рис. 7) лепестки толщиной 100–200 нм,

Таблица 6

Характеристики образцов,  
полученных с применением модификатора S  
Глина Хлыстовского месторождения

Характеристики / Температура обжига, °С	950	1000	1050
Плотность, г/см <sup>3</sup> ; содержание S 3%	1,85	1,86	1,95
Плотность, г/см <sup>3</sup> ; содержание S 5%	1,81	1,85	1,97
Водопоглощение, %; содержание S 3%	12,4	12,2	7,5
Водопоглощение, %; содержание S 5%	12,3	10,7	5,3
Прочность при сжатии, МПа; содержание S 3%	20,2	25,5	83,8
Прочность при сжатии, МПа; содержание S 5%	22,9	38,3	94,7

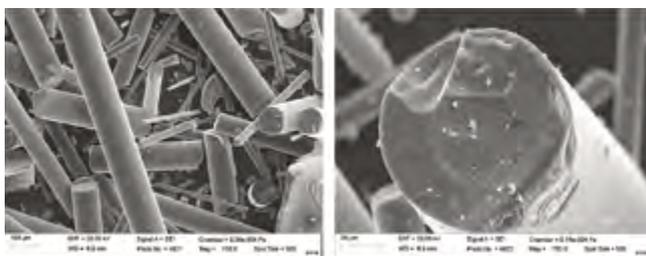


Рис. 8. РЭМ изображение модификатора V – волокнистые отходы завода стекловолокна

что обуславливает очень развитую удельную поверхность; мы полагаем, что этим объясняется чрезвычайно высокая реакционная способность модификатора X.

Установлено, что уже при температуре 800°С в композиции диатомита с модификатором X интенсивно проходит процесс синтеза кристаллических новообразований: кристобалита, кварца, микролина. Полученные таким образом образцы с минимальной долей аморфной фазы отличаются высокой прочностью при сжатии (120 МПа), плотностью 2,21 г/см<sup>3</sup>, водопоглощением 0,8%. Однако текущий выход данного отхода составляет менее 1 тыс. т в год, поэтому его применение в качестве модификатора для керамики ограничено.

**Модификатор S** (на заводе его называют смет) – многотоннажные (более 4 тыс. т) отходы завода по производству стекловолокна, состоящие преимущественно из аморфного кремнезема (90%), оксидов щелочных и щелочно-земельных элементов. Его использование даже в незначительных количествах позволяет получить материалы с высокими прочностными характеристиками из глин различных месторождений при невысоких температурах обжига (табл. 5).

Наибольший эффект упрочнения получен на глине Хлыстовского месторождения (табл. 6).

Другой вид промышленных отходов завода стекловолокна (далее – **модификатор V**) представляет собой сами волокна стекла толщиной 20–60 мкм (рис. 8).

Естественно предположить, что эти волокна будут работать как своеобразная арматура, максимальный упрочняющий эффект которой будет достигнут при переходе в расплав. Экспериментально установлено, что этот процесс реализуется при температуре обжига 1000–1100°С.

Еще в конце 1980-х гг. в СССР разрабатывалась программа использования в технологии керамики отвалов угледобычи; к сожалению, эта программа так и осталась нереализованной. В Татарстане уголь не добывают, но

Таблица 7

Характеристики керамического камня  
из глин Хлыстовского месторождения с комплексной  
добавкой модификаторов Z и V. T<sub>обж</sub> = 1150°С

	1	1	1	1	1
Содержание модификатора V, %	1	1	1	1	1
Содержание модификатора Z, %	2	5	8	10	12
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,25	2,22	2,22	2,23	2,17
Водопоглощение, %	1,5	2,3	1,5	1,6	2,6
Огневая усадка, %	6,8	6,6	5,6	5,4	5,6
Прочность при сжатии, МПа	112,4	118,5	116,4	117,1	114,2

Таблица 8

Характеристики керамических материалов,  
полученных из глин Хлыстовского месторождения  
с модификатором Z и V. T<sub>обж</sub> = 1200°С

	1	1	1	1
Содержание модификатора V, %	1	1	1	1
Содержание модификатора Z, %	8	10	12	15
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,12	2,18	2,19	2,29
Водопоглощение, %	0,7	0,8	0,7	0,8
Огневая усадка, %	5,6	5,6	5,2	4,8
Прочность при сжатии, МПа	119,8	123,1	128,6	130

добывают нефть. В этой связи мы предложили использовать отход нефтедобычи (**модификатор НШ**) – нефтешлам, в котором содержание нефти доходит до 13%, а содержание кальция составляет 19%.

В фазовом составе керамики из глины Алексеевского месторождения с 7% нефтяного шлама после обжига при 1000°С содержание аморфной фазы 25, кварца – 43, полевых шпатов – 26, авгита – 6%. Изменение фазового состава по сравнению с керамикой из глины без нефтяного шлама мы объясняем восстановительной средой, которая формируется при выгорании нефтяных фракций, а также составом самого шлама. Несколько повышенное содержание атомов кальция в сочетании с восстановительной средой обжига приводит к тому, что на поверхности зерен кварца образуется своеобразный налет из легкоплавких эвтектик и контакты между зернами становятся более плотными. Структура образца свидетельствует о спекании с участием жидкой фазы (рис. 9).

Образцы имеют водопоглощение 13,6%, прочность при сжатии – 32,4 МПа, однако главное заключается в том, что это открывает дорогу существенному снижению энергоемкости производства. Так, по данным термического анализа, в уже упомянутой сырьевой смеси в интервале температуры 600–850°С (максимум при 751°С) зафиксирован значительный экзотермический пик.

В связи с тем, что далеко не все легкоплавкие глины сохраняют форму при температуре обжига 1150°С, предлагается использовать комплексную добавку (модификаторы Z+V). Ее использование позволило из глин Хлыстовского месторождения получить образцы с высокой прочностью (табл. 7). Содержание модификатора V было постоянным и составляло 1%, варьировали количество модификатора Z.

Применение комплексного модификатора (Z+1%V) позволило поднять температуру обжига образцов до 1200°С, в результате чего получены образцы керамиче-

Таблица 9

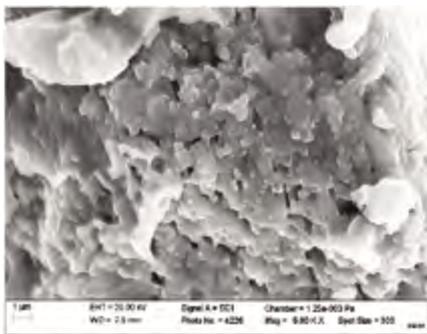


Рис. 9. РЭМ изображение керамики из глины Алексеевского месторождения с модификатором НШ

Характеристики керамических образцов из глины Салмановского месторождения с модификатором Z. T<sub>обж</sub> = 1100°C

Содержание модификатора Z, %	5	8	10
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,86	1,54	1,83
Водопоглощение, %	13,4	14,3	14,9
Прочность при сжатии, МПа	19,7	17,3	11,5

ского камня с характеристиками (табл. 8), полностью соответствующими требованиям к керамическому клинкеру для мощения. Мы полагаем, что такой метод производства клинкера не менее эффективен, чем ранее предложенные [3, 4].

Применение отмеченных модификаторов имеет еще один эффект. С ростом концентрации модификатора огневая усадка существенно снижается, а значит, снижается и риск трещинообразования. Отметим, что добавка модификатора одновременно снижает чувствительность керамических масс к сушке. Это важно учитывать при производстве крупноформатных изделий.

Подобные закономерности отмечаются и с глинами некоторых других месторождений, например Алексеевского и Ключищинского, однако с глинами Буинского месторождения положительный эффект не установлен. Мы полагаем, что это связано с особенностями минерального состава глины Буинского месторождения, где в отличие от Алексеевской, Хлыстовской, Ключищинской и некоторых других глин отмечается повышенное содержание гидрослюдистого минерала мусковит. В то же время известно, что разрушение мусковита отмечается при температуре 950–1000°C, что и объясняет деструктивное влияние мусковита на модификатор Z.

С глинами Салмановского месторождения, отличающимися повышенным содержанием карбонатов, модификатор Z не только не улучшает прочностные характеристики, а наоборот, с ростом его концентрации

прочность образцов при сжатии существенно снижается (табл. 9). Мы полагаем, что образуемые в результате обжига глины Салмановского месторождения силикаты кальция не только не взаимодействуют с модификатором Z, но его присутствие вызывает разрыхляющий эффект, что и провоцирует рост водопоглощения даже при значительной температуре обжига.

Таким образом, наши исследования позволили сделать три основных вывода.

1. Ввиду чрезвычайно широкого разнообразия характеристик легкоплавких глин, даже находящихся в одном регионе, универсального модификатора для всех глин не существует. Однако применение современных методов исследования (количественный рентгенофазовый анализ, сканирующая электронная микроскопия) позволяют для каждого конкретного месторождения подобрать промышленный отход в виде эффективного модификатора для получения материалов с высокими характеристиками.
2. Использование нефтяных шламов, а в перспективе и отходов угледобычи позволит снизить энергоемкость процесса получения керамических материалов и тем самым повысить конкурентоспособность отечественной керамики.
3. В России 2017 г. объявлен годом экологии; у производителей строительной керамики есть все возможности внести вклад в улучшение экологической обстановки своих регионов путем эффективного использования техногенных отходов.

Список литературы

1. Мустафин Н.Р., Ашмарин Г.Д. Строительная керамика на основе местных глинистых пород и алюмокарбонатосодержащих отходов производства изопропилену // *Стекло и керамика*. 2006. № 9. С. 17–18.
2. Mustafin N.R., Ashmarin G.D. Die klinkerkeramik auf grund des kieselerdeerohstoffes und der technogenischen abfallstoffe // *Keramische Zeitschrift*. 2006. No. 4, pp. 80–81. (In Germany).
3. Фаизуллин И.Э. Экономика производства клинкерного кирпича: *Материалы XV академических чтений РААСН «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии»*. Казань, 2010.
4. Морозова С.В., Пермяков Е.Н., Корнилов А.В., Лыгина Т.З., Гревцев В.А. Клинкерная керамика на основе легкоплавких полиминеральных глин: *Материалы XV академических чтений РААСН «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии»*. Казань, 2010.
5. Саенко Э.Г., Корепанова В.Ф., Гринфельд Г.И. Возможности фасадного клинкерного кирпича марки «ЛСР» в замещении импорта // *Строительные материалы*. 2016. № 4. С. 60–63.

References

1. Mustafin N.R., Ashmarin G.D. Building ceramics on the basis of local clay rocks and aluminum-karbonatosodezhaschih isopropyl production waste. *Steklo i keramika*. 2006. No. 9, pp. 17–18. (In Russian).
2. Mustafin N.R., Ashmarin G.D. Die klinkerkeramik auf grund des kieselerdeerohstoffes und der technogenischen abfallstoffe. *Keramische Zeitschrift*. 2006. No. 4, pp. 80–81. (In Germany).
3. Faizullin I.E. Economy of production of clinker. *Materials XV Academic readings RAACS “Achievements and Problems of Materials Science and modernization of the construction industry”*. Kazan. 2010.
4. Morozova S.V., Permyakov E.N., Kornilov A.V., Lygina T.Z., Grevtsev V.A. Clay based ceramics polymineral fusible clays. *Materials XV Academic readings RAACS “Achievements and Problems of Materials Science and modernization of the construction industry”*. Kazan. 2010. (In Russian).
5. Saenko Je.G., Korepanova V.F., Grinfel’d G.I. Capabilities of facade clinker brick of «LSR» brand to substitute import. *Stroitel’nye Materialy [Construction Materials]*. 2016. No. 4, pp. 60–63. (In Russian).

УДК 666.3.022.6:537.868:539.2

И.А. ЖЕНЖУРИСТ, канд. техн. наук (ir.jenjur@yandex.ru)

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

## Перспективы СВЧ термообработки в технологии получения спеченной керамики на основе диатомита и алюмонатриевого модификатора

Рассмотрены результаты обработки полем СВЧ композиций на основе диатомита и алюмонатриевого модификатора, влияние поля СВЧ на структуру и физико-механические показатели керамического материала, полученного на их основе. С помощью оптической и растровой микроскопии, дифференциально-термического и рентгенофазового анализа исследовано влияние комплексных добавок (гидрозоля оксида алюминия, стабилизированного соляной кислотой, и хлористого натрия) и обработки масс полем СВЧ, добавок мергеля на процессы при нагреве водных суспензий силикатов и физико-механические показатели керамического материала на их основе. Проанализированы отличия в поведении при нагреве обработанных в поле СВЧ масс. Композиция с добавкой мергеля показала наибольшую прочность, которая повышается при обработке массы полем СВЧ. Рентгенофазовый анализ показал наличие наноразмерной фазы алюмосиликата.

**Ключевые слова:** диатомит, модификатор, поле СВЧ, структура, свойства материала.

I.A. ZHENZHURIST, Candidate of Sciences (Engineering) (ir.jenjur@yandex.ru)  
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

### Prospects of Ultra-High Frequency Heat Treatment in Technology of Producing Sintered Ceramic on the Basis of Diatomite and an Aluminum-Sodium Modifier

Results of the treatment of compositions on the basis of diatomite and the aluminum-sodium modifier with the UHF field, influence of the UHF field on the structure and physical-mechanical characteristics of the ceramic material produced on their bases are considered. With the help of optical and scanning microscopy, differential-thermal and X-ray phase analyses, the influence of complex additives (aluminum oxide hydrosol stabilized with the salt acid, and sodium chloride) and treatment of masses with the UHF field, additives of marl on the processes when heating water suspensions of silicates and on physical-mechanical characteristics of the ceramic material on their base has been studied. Differences in behavior when heating masses treated in the UHF field has been analyzed. The composition with a marl additive shows the greatest strength which increases when treating the masses with the UHF field. The X-ray phase analysis shows the presence of a nano-size phase of aluminum silicate.

**Keywords:** diatomite, modifier, UHF field, structure, properties of material.

Многие регионы страны испытывают дефицит природного высококачественного алюмосиликатного сырья для производства строительной керамики, особенно таких материалов, как клинкерные изделия, плитка, керамогранит и другие виды изделий с плотным остеклованным черепком, получаемые при высокотемпературном обжиге. В связи с этим актуальны работы по изучению возможности использовать для их производства распространенное высокодисперсное силикатное сырье.

Основной эксплуатационной характеристикой изделий является прочность, которая отражает особенности внутренней структуры материала. Предпосылками получения высокой прочности керамического материала можно считать полное использование энергетических резервов сырьевой композиции на протяжении всего технологического процесса, что достигается активностью сырьевой композиции и энергетических вливаний в процессе термообработки. Большое значение имеет реакционная способность компонентов шихты, которая складывается из степени дисперсности и химической активности ее составляющих, а также энергетическая эффективность теплового воздействия. В связи с этим можно предположить, что использование высокоактивных природных минералов и энергетических полей является перспективным для целей получения высокопрочной керамики.

С этих позиций интересны опал-кристаллитовые поро-

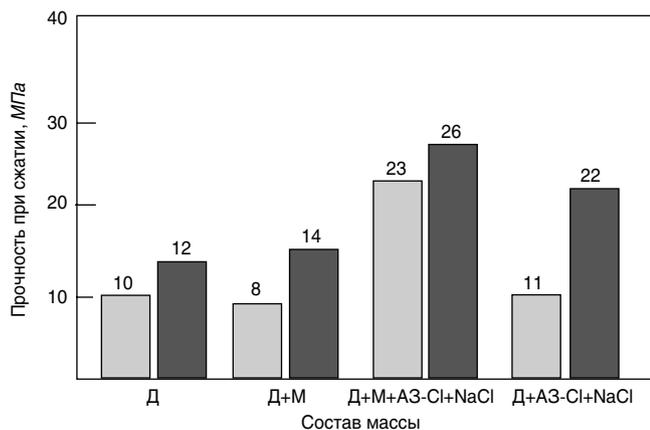
ды, среди которых диатомит, трепел, опока представлены широко в различных регионах страны, где кремнезем (основной компонент керамических масс) – аморфный и присутствует в активной форме [1, 2]. Кроме этого, имеются отходы производства с большим содержанием аморфного кремнезема. Активный кремнезем обладает способностью в присутствии воды взаимодействовать при низкой температуре с воздушной известью и гидроксидом кальция, повышать при этом прочность изделий [2, 3]. Карбонаты кальция широко представлены в известняках, меловых породах, мергелях, отходах производства.

В качестве основного компонента для проведения исследований был выбран диатомит Инзенского месторождения Ульяновской области, а в качестве карбонатсодержащей добавки – мергель (Максимковская глина) Республики Татарстан, содержащие высокодисперсные, органогенные карбонатные включения (см. таблицу).

Все сырьевые материалы обычно находятся в неактивном состоянии и при комплексной обработке могут приобретать химическую активность в результате энергетического взаимодействия на границе разде-

**Химический состав сырьевых компонентов для исследования**

Сырьевые компоненты формовочной смеси	Массовое содержание, %							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	SiO <sub>3</sub>
Инзенский диатомит (Д)	98,7	0,1	0,08	0,05	0,1	0,2	0,65	0,01
Мергель (М)	33,24	11,36	0,58	3,58	24,57	1,52	3,55	0,28



**Рис. 1.** Прочность при сжатии обожженных при 1000°C образцов, отформованных из пластичных масс влажностью 28% (32% СВЧ): □ – без СВЧ; ■ – с СВЧ

ла фаз. Известны химические методы активации минеральных составляющих растворами электролитов высокой концентрации, в частности растворами солей [4]. В этом состоянии взаимодействие начинается с момента контактирования поверхности зерен минеральных частиц и солевого раствора. Управляя электроповерхностными свойствами взаимодействующих частиц, например под действием электромагнитных полей, можно воздействовать на процессы структурообразования материала.

Для керамического материала, являющегося гетерогенной системой с развитой поверхностью раздела фаз, сила межфазного взаимодействия структурных компонентов (кристаллической и аморфной фаз) является определяющей в конечной прочности спеченного материала. На первой стадии технологического процесса при массоподготовке начинается контактирование между фазами, а повышение физико-химической активности сырьевых компонентов может изменить технологический процесс, сформировать конгломерат со структурой сырца, дающей после обжига прочный спеченный материал.

Поскольку для составляющих шихты наноразмерный уровень дисперсности компонентов наиболее предпочтителен, появление активной фазы наноразмерной дисперсности в процессе термообработки алюмосиликатов, активированных электромагнитным полем, прежде всего полем СВЧ, имеет особое значение [5]. При этом в готовом материале формируется структура, состоящая из высокодисперсных фаз с включениями наноразмерных компонентов [6].

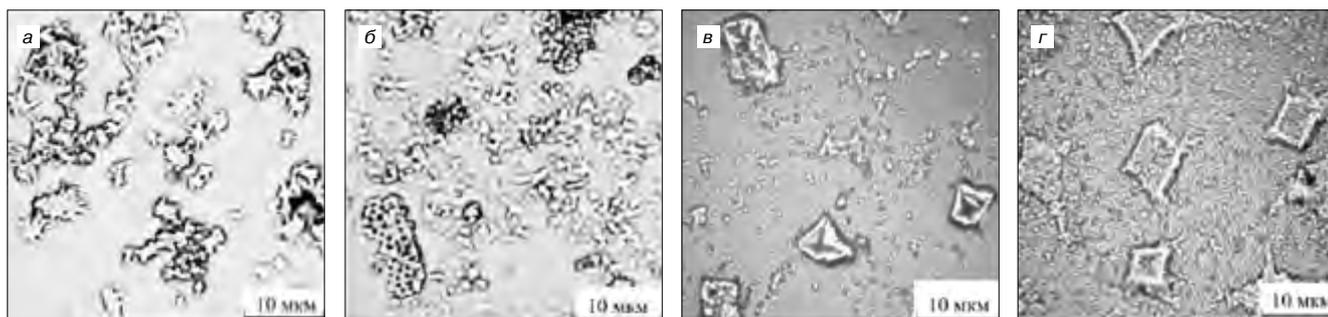
Большое число разработок в нанотехнологии, в том числе и керамических материалов, показали возможность получения материала с прочностью, приближающейся к теоретической [7, 8]. Замечено, что причи-

ной пониженных свойств реальных материалов является несовершенство технологии получения последних, и связано это с операциями измельчения, смешения, транспортирования, уплотнения и др. [8]. Отмечается возникновение микронеоднородностей в структуре готовых материалов вследствие появления особенностей структуры высококонцентрированных дисперсных смесей на стадии их приготовления. Предложено решать проблемные задачи в этом направлении за счет увеличения физико-химической активности взаимодействующих фаз на границе их раздела, соблюдать принцип минимальной энергоёмкости технологического прогресса и сокращать продолжительность тепловых процессов.

С этих позиций важным сырьем можно считать месторождения диатомита, в котором кремнезем присутствует в реакционно-активной форме [2, 3, 9], а массоподготовку проводить активацией полем СВЧ. В работе [10] предлагалось использовать эту особенность в диатомите для приготовления силикатного стекла путем применения для этого традиционной технологии, основанной на получении силикатного расплава при участии поля СВЧ.

Известны работы по активному участию хлоридов щелочных металлов при спекании алюмосиликатного сырья [11]. Особенно важно их участие в случае наличия в силикате примесей карбонатов Са и Mg, которые часто сопровождают месторождения диатомитов и трепелов, а также в высокодисперсном состоянии находятся в мергелях. Исследования процессов формирования структуры силикатов, модифицированных алюмосодержащими добавками и энергетической активацией электромагнитным полем, показали значительное изменение технологических свойств алюмосиликатного сырья и улучшение свойств изделий на его основе. Отмечено усиливающее действие гидрозоля оксида алюминия и поля СВЧ на деформационные колебания кремний- и алюмоокислородных каркасов, активизирующих процессы на границе раздела фаз, которые могут привести к перестройке алюмосиликатного каркаса [12].

Похожий эффект проявляется при взаимодействии хлоридов щелочных металлов с алюмосиликатными компонентами, обусловленный эффектом Хедвала, сопровождающегося перестройкой решетки алюмосиликата в процессе дегидратации и разложения хлоридов щелочных металлов, которые связываются в алюмосиликаты. При этом отмечено ускорение взаимодействия между  $CaCO_3$  и алюмосиликатной составляющей низкотемпературных стадий минералообразования [13]. Обнаружено изменение микроструктуры и увеличение доли мелких кристаллов при спекании, что приводит в дальнейшем к увеличению прочности. Ранее [14] было отмечено активное влияние алюмозоля, стабилизированного ионами хлора на силикаты; характеристики их



**Рис. 2.** Микроструктуры золей: 10%-х водных суспензий из: а – диатомита; б – диатомита, обработанного СВЧ; в – диатомита с комплексной добавкой; г – диатомита с комплексной добавкой, обработанного СВЧ

водных суспензий и свойства материалов на их основе. Известно влияние ионов щелочных металлов, и прежде всего  $\text{Na}^+$ , на свойства силикатов при получении силикатных стекол и модифицированных бентонитов [4]. Учитывая это, в качестве модифицирующей добавки был опробован комплексный модификатор на основе  $\text{NaCl}$  и алюмосоля АЗ-С1 (стабилизированного соляной кислотой).

Целью работы было исследование влияния комплексной модифицирующей добавки на основе алюмосоля и  $\text{NaCl}$  на свойства природного силиката аморфной структуры, влияние добавки высокодисперсных карбонатов и электромагнитного поля СВЧ на этот процесс.

В качестве алюмосодержащего компонента был выбран гидрозоль оксида алюминия, стабилизированный соляной кислотой 8 % концентрации (структура кристаллита типа бемита размером 3,5–4 нм, рН 4,5, ОАО «Казхим НИИ»),  $\text{NaCl}$  экстра по ГОСТ 51574–2000.

Породы в сухом состоянии размалывали и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм. Формовочную массу готовили путем смешивания силикатной композиции с предварительно приготовленной модифицирующей добавкой, которую вводили от 0,5 до 1,5 мас. %. Полученную массу делили пополам, одну часть обрабатывали полем СВЧ в микроволновой печи (мощность 800 Вт, частота 2450 МГц) 1 мин. Массы увлажняли дистиллированной водой до получения пластического теста (влажность 28–32% в зависимости от силикатной композиции) и обработки композиции СВЧ, формовали образцы размером 30×30×30 мм, сушили до постоянной массы при 100°C и обжигали при температуре 1000°C. Результаты испытаний приведены на рис. 1. На гистограмме представлены составы модифицированных масс с лучшими показателями прочности, которые были получены при содержании добавки 1%.

Видно, что при добавлении модифицирующей добавки наблюдается увеличение прочности, причем обработка массы СВЧ значительно усиливает этот эффект. Состав с композиционной алюмонатрий-хлорной добавкой показывает для диатомита с добавкой мергеля наибольшую прочность. Наибольший интерес представляет масса с композиционной добавкой к диатомиту, которая без обработки СВЧ показала невысокую прочность, а при обработке полем СВЧ значительный прирост прочности. Эта композиция была взята для дальнейших исследований.

Из 10% суспензий масс в воде были взяты пробы на стекло, микроструктура которых представлена на рис. 2.

Обработка диатомита полем СВЧ приводит к измельчению фрагментов диатомита (рис. 2, а, б). У диатомита с комплексной добавкой (рис. 2, в) на фоне крупных кристаллов присутствует мелкая дисперсная фаза, наличие которой после обработки полем СВЧ значительно увеличивается (рис. 2, г). Дисперсная фаза представлена образованиями размером 5–10 нм (рис. 3), которые после обжига могут дать остеклованную связку. Снимок получен на растровом микроскопе (Philips SEM 515).



Рис. 3. Структура дисперсной фазы диатомита, обработанного СВЧ

Дифференциальные кривые масс с комплексной добавкой представлены на рис. 4. Видны значительные различия поведения масс при нагреве до и после обработки полем СВЧ.

Для составов до 300°C происходит эндотермиче-

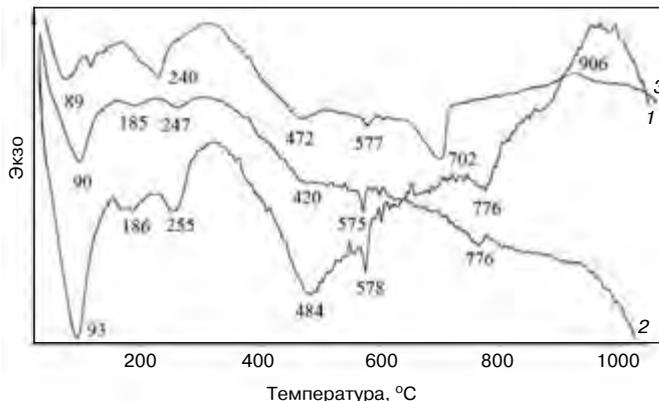


Рис. 4. Термограммы ДТА композиций из диатомита: 1 – с комплексной добавкой; 2 – с комплексной добавкой и СВЧ; 3 – с мергелем, комплексной добавкой и СВЧ

ский процесс диффузии растворов в капиллярах массы и удаления молекулярной воды, состоящий из трех периодов (92,8; 186,4; 255°C). Для массы, прошедшей обработку в поле СВЧ, этот процесс происходит в более низкотемпературной области. Разница в потере массы составляет 1,23%, а экономия энергии 3,95 Дж/г.

В диапазоне температуры 300–1050°C наблюдаются наибольшие изменения. Потеря массы при нагреве двух составов лежит в одинаковых пределах (4,5–4,95%). Энергия, затраченная на этот процесс, меньше у массы, прошедшей обработку в поле СВЧ, на 23,78 Дж/г. В этой области происходит удаление конституционной воды, перекристаллизация кварца, разложение карбонатных включений, начало фазовых преобразований алюмосиликатов, взаимодействие активированных силикатов с комплексным модификатором, появление легкоплавких соединений. Для массы, не прошедшей обработку СВЧ, основная энергия была затрачена на удаление конституционной воды, для массы, прошедшей обработку СВЧ, энергия распределена равномерно на весь температурный диапазон, вероятнее всего, на процессы в межфазной зоне силикатной композиции. Благодаря этому в процессе нагрева в образце, прошедшем обработку полем СВЧ, может формироваться структура материала без значительных деформаций и микродефектов. Для состава с добавкой мергеля, обработанного полем СВЧ, который показал наибольшую прочность (рис. 1), отмечен большой эндотермический пик в температурном диапазоне 648–716°C разложения карбонатов и реакционной активности комплексной добавки с затратой энергии в 4,7 Дж/г и экзотермического процесса образования фаз 30,5 Дж/г в температурном диапазоне 870–920°C. Это согласуется с выводами, сделанными в работе [9], для алюмосиликатных композиций с карбонатными включениями.

Для понимания этих процессов был проведен рентгенофазовый анализ (дифрактометр Shimadzu XRD 6000) проб обожженных образцов. Не было выявлено существенных различий в фазовом составе масс на основе диатомита до и после обработки полем СВЧ, размер кристаллитов составляет 200 нм. Состав с мергелем и комплексной добавкой (рис. 1) показал повышенную прочность. Обработка массы в поле СВЧ незначительно повышает этот показатель. Дифрактограммы образцов идентичны, хотя для образца, обработанного в поле СВЧ в диапазоне температуры 890–912°C, наблюдается небольшой экзотермический пик с потерей массы 0,17% и энергии 4,8 Дж/г. Рентгенофазовый анализ показал наличие в обожженном образце фазы алюмосиликата ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ ) менее 100 нм, которая в образце, не обработанном в поле СВЧ, значительно превышает 200 нм (размер

кристаллита не фиксируется). Полученные результаты согласуются с данными Е.П. Ермоленко [13].

На данной стадии исследования можно сделать вывод, что обработка полем СВЧ композиций на основе диатомита с алюмонатриевым модификатором позволяет значительно увеличить прочность образцов после обжига. Исследования в этом направлении позволят понять механизм формирования керамических масс на основе аморфных силикатов и разработать энергетиче-

ски рациональную технологию получения керамических материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками.

*Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания № 7.1955.2014/К в сфере научной деятельности по теме «Разработка научно-технологических основ малотоннажной строительной химии как отрасли строительной индустрии России (эффективной отрасли национальной экономики России)».*

### Список литературы

1. Селяев В.П., Осипов А.К., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И., Маштаев О.Г., Сидоров В.В. Теплоизоляционные свойства материалов на основе тонкодисперсных минеральных порошков // *Строительные материалы*. 2013. № 1. С. 61–63.
2. Пустовгар А.П. Эффективность применения активированного диатомита в сухих строительных смесях // *Строительные материалы*. 2006. № 10. С. 62–64.
3. Айлер Р. Химия кремнезема. Ч. 2. М.: Мир, 1982. 712 с.
4. Куртукова Л.В., Сомин В.А., Комарова Л.Ф. Изменение свойств бентонитовых глин под действием различных активаторов // *Ползуновский вестник*. 2013. № 1. С. 287–289.
5. Знаменский Л.Г., Варламов А.С. Низкотемпературный синтез муллита в керамике по зольгель процессу при электроимпульсном воздействии на коллоиды // *Огнеупоры и техническая керамика*. 2014. № 4–5. С. 2–5.
6. Женжурист И.А. Эффективность микроволновой обработки глинистых композиций при подборе шихты в технологии керамики // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 60–63.
7. Морозов В.В., Сысоев Э.П. Нанотехнологии в керамике: Монография. Ч. 1. Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2010. 276 с.
8. Ковалев Я.Н. Инновационные технологии в дорожном материаловедении // *Наука и техника*. 2015. № 2. С. 9–15.
9. Селяев В.П., Седова А.А., Куприяшкина Л.И., Осипов А.К. Изучение условий получения аморфного микрокремнезема из природного диатомита // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Химия*. 2015. № 4 (12) С. 84–93.
10. Патент РФ 2483024. *Способ обогащения природного кварцевого сырья*/Скамницкая Л.С., Данилевская Л.А., Раков Л.Т., Дубинчук В.Т. Заявл. 22.06.2011. Опубл. 27.05.2013. Бюл. № 15.
11. Классен В.К., Ермоленко Е.П., Новоселов А.Г. Взаимодействие в системах карбонат кальция – щелочные хлориды // *Техника и технология силикатов*. 2009. № 4. С. 7–16.
12. Женжурист И.А. Микроволновая обработка силикатов полем СВЧ с модификаторами на основе оксида алюминия // *Стекло и керамика*. 2015. № 7. С. 39–43.
13. Ермоленко Е.П., Классен В.К., Новоселов А.Г. Влияние KCl и NaCl на процессы клинкерообразования и качество цемента // *Инновационные материалы и технологии: Сборник докладов Международной научно-практической конференции*. Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова. 2011. Ч. 3. С. 17–22.
14. Женжурист И.А. Наномодификация алюмосиликатов в электромагнитном поле // *Керамика и композиционные материалы: доклады IX Всероссийской научной конференции*. Сыктывкар, 2016. С. 293–297.

### References

1. Selyaev V.P., Osipov A.K., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I., Mashtaev O.G., Sidorov V.V. Heat-insulating properties of materials on the basis of fine mineral powders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 1, pp. 61–63. (In Russian).
2. Pustovgar A.P. Efficiency of use of the activated diatomite in dry construction mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 10, pp. 62–64. (In Russian).
3. Ayler R. Himija kremnezema [Silicon dioxide chemistry]. Part 2. Moscow: Mir, 1982. 712 p.
4. Kurtukova L.V., Somin V.A., Komarova L.F. Change of properties of bentonite clays under the influence of various activators. *Polzunovskij vestnik*. 2013. No. 1, pp. 287–289. (In Russian).
5. Znamensky L.G., Varlamov A.S. Low-temperature synthesis of mullite in ceramics on zol-gel to process in case of electropulse impact on colloids. *Ogneupory i tehniceskaja keramika*. 2014. No. 4–5, pp. 2–5. (In Russian).
6. Zhenzhurist I.A. Efficiency of microwave handling of clay compositions when matching furnace charge in technology of ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 4, pp. 60–63. (In Russian).
7. Frosts V.V., Sysoyev E.P. Nanotehnologii v keramike [Nanotechnologies in ceramics]: monograph. Part 1. Vladimir: Vladimir State University. 2010. 276 p.
8. Kovalyov YA.N. Innovative technologies in road materials science. *Nauka i tehnika*. 2015. No. 2, pp. 9–15. (In Russian).
9. Selyaev V.P., Sedova A.A., Kupriyashkina L.I., Osipov A.K. Studying of conditions of receipt of amorphous microsilicon dioxide from natural diatomite. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Himija*. 2015. No. 4 (12), pp. 84–93. (In Russian).
10. Patent RF 2483024. *Sposob obogashhenija prirodnogo kvarcevoogo syr'ja* [Method of enrichment of natural quartz raw materials]. Skamnitsky L.S., Danilevskaya L.A., Rakov L.T., Dubinchuk V.T. Declared. 22.06.2011. Published 27.05.2013. Bulletin No. 15.
11. Klassen V.K., Ermolenko E.P., Novoselov A.G. Interaction in systems a calcium carbonate – alkaline chlorides. *Tehnika i tehnologija silikatov*. 2009. No. 4, pp. 7–16. (In Russian).
12. Zhenzhurist I.A. Microwave handling of silicates by the field microwave oven with modifiers on the basis of aluminum oxide. *Steklo i keramika*. 2015. No. 7, pp. 39–43. (In Russian).
13. Ermolenko E.P., Klassen V.K., Novoselov A.G. Influence of KCl and NaCl on processes of a clinkersire and quality of cement. *Innovative materials and technologies: collection of reports of the International scientific and practical conference*. Belgorord: BG TU of V.G. Shukhov. 2011. Part 3, pp. 17–22.
15. Zhenzhurist I.A. Nanomodification of aluminosilicates in the electromagnet field. *Ceramics and composite materials: reports of the IX All-Russian scientific conference*. Syktyvkar. 2016, pp. 293–297.

УДК 691.42

В.А. ГУРЬЕВА<sup>1</sup>, д-р техн. наук (victoria-gurieva@rambler.ru); В.В. ДУБИНЕЦКИЙ<sup>2</sup>, инженер;  
К.М. ВДОВИН<sup>1</sup>, инженер; Н.В. БУТРИМОВА<sup>2</sup>, магистр

<sup>1</sup> Оренбургский государственный университет (460018, г. Оренбург, пр. Победы, 13).

<sup>2</sup> Бузулукский гуманитарно-технологический институт (филиал) ОГУ (461040, Оренбургская обл., г. Бузулук, ул. Рабочая, 35).

## Стеновая керамика на основе высококальцинированного сырья Оренбуржья

Рассмотрена возможность утилизации техногенного продукта, получаемого в процессе бурения нефтяных скважин на объектах ПАО «Оренбургнефть», в производстве изделий строительной керамики, характеризующихся повышенным содержанием карбонатных соединений. Разработаны составы двух- и трехкомпонентной шихты (глина–буровой шлам–стеклобой) для производства керамического кирпича из местного сырья. Исследование направлено на утилизацию, обезвреживание и вторичное использование бурового шлама, что может способствовать улучшению экологической обстановки и созданию резервов дешевого сырья для производства керамических строительных материалов.

**Ключевые слова:** буровой шлам, строительная керамика, утилизация и переработка, промышленные отходы, стеклобой.

V.A. GURIEVA<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (victoria-gurieva@rambler.ru); V.V. DUBINETSIIY<sup>2</sup>, Engineer;  
K.M. VDOVIN<sup>1</sup>, Engineer; N.V. BUTRIMOVA<sup>2</sup>, Magister

<sup>1</sup> Orenburg State University (13, Pobedy Avenue, 460048, Orenburg, Russian Federation)

<sup>2</sup> Buzuluk Humanitarian-Technological Institute (branch of OSU) (35, Rabochaya Street, Buzuluk, 461040, Orenburg Oblast, Russian Federation)

### Wall Ceramic on the Basis of Highly Calcined Raw Materials of Orenburzhye

A possibility to utilize the anthropogenic product obtained in the process of oil drilling at objects of PAO "Orenburgneft" in the manufacture of building ceramic products which are characterized by a higher content of carbonate compounds is considered. Compositions of two- and three-component charges (clay-drilling cuttings-crushed glass) for producing the ceramic brick from local raw materials have been developed. The study is focused on the utilization, decontamination and secondary use of the drilling cuttings that can contribute to improvement of the ecological situation and creation of reserves of cheap raw materials for producing ceramic building materials.

**Keywords:** drilling cuttings, building ceramic, utilization and processing, industrial waste, crushed glass.

Строительная отрасль Оренбуржья относится к числу ключевых отраслей экономики, обеспечивающих устойчивое социально-экономическое развитие области. Деятельность строительных организаций базируется на применении разнообразных материалов, в том числе керамических, обеспечивающих комфортность и безопасность для человека [1]. Целью представленной работы является исследование особенностей технологии керамического кирпича, удовлетворяющего требованиям ГОСТ 530–2012, на основе композиции легкоплавких глин и нефтешламов Оренбуржья с учетом их химико-минералогических особенностей.

Истощение запасов отечественных высококачественных глин и каолинов обуславливает необходимость вовлечения в керамическую промышленность глинистых пород среднего и низкого качества, техногенного сырья, обеспечивающих перевод базового производства на ресурсосберегающий уровень. Анализ взаимосвязи особенностей вещественного состава и технологических свойств сырья является важным этапом в технологическом процессе и приобретает особую актуальность в рамках региональной программы изучения и воспроизводства минерально-сырьевой базы Оренбуржья. Разведанные запасы глинистого сырья Оренбургской области, учтенные запасом, представлены в табл. 1.

Одним из самых распространенных региональных видов глинистого сырья являются полиминеральные легкоплавкие глины. Исследования выполнялись на основе глины Бузулукского месторождения, которое является базовым для действующего кирпичного завода. Химический, гранулометрический составы глины Бузулукского месторождения приведены в табл. 2, 3.

Данные таблиц показывают, что бузулукская глина характеризуется низким содержанием  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Однако в глине присутствуют в большом количестве

карбонатные включения как в тонкодисперсном виде, так и в виде частиц размером 1–5 мм и органические примеси. По содержанию тонкодисперсных фракций глина является дисперсной. По минералогическому составу глина относится к смешанослойным новообразованиям гидрослюдисто-монтмориллонито-каолинитового типа. Интересной особенностью глины является содержание в ней минерала цеолита, который представляет собой гидратированные алюмосиликаты щелочных элементов. Производство на основе данной глины является энергозатратным и в настоящее время не позволяет получить кирпич высокого качества. В связи с этим перспективно направление совершенствования технологии с использованием техногенных продуктов.

В перечне разнообразных вторичных техногенных продуктов, имеющих широкое применение при производстве строительных материалов, можно выделить группу материалов, попутно полученных в процессе бурения скважин при обустройстве нефтяных и газовых месторождений [2–4]. Так как Оренбургская область обладает значительными запасами углеводородов, развитой промышленностью добычи и переработки газа и

Таблица 1

Группа сырья по огнеупорности	Количество месторождений	Всего учтенный запас, млн м <sup>3</sup>
	всего / эксплуатируемые	
Глины огнеупорные	1 / 1	11,79
Глины тугоплавкие	1 / 1	22,76
Глины легкоплавкие	64 / 24	99,23

**Таблица 2**

**Вещественный состав глины Бузулукского месторождения, мас. %**

SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ППП
41,71	0,23	3,92	2,1	0,01	25,6	0,37	0,18	0,94	0,12	23,05

**Таблица 3**

**Гранулометрический состав глины Бузулукского месторождения**

Наименование месторождения глины	Содержание фракций, %, размер фракций в мм				
	1–0,063	0,063–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
Бузулукское	14	10	1	6	42

**Таблица 4**

**Вещественный состав бурового шлама ПАО «Оренбургнефть»**

Химический состав сухого вещества, %							
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	ППП
23,84	10,8	21,28	2,28	3,72	10,83	1,81	29,24

**Таблица 5**

**Минеральный состав бурового шлама ПАО «Оренбургнефть»**

Минеральный состав, мас. %				
Кварц	Кальцит	Доломит	Полевой шпат	Гидрослюда
24,3	17,39	6,86	25,32	18,56

нефти, большой интерес для исследований представляют буровые шламы ПАО «Оренбургнефть», обладающие однородностью и невысокой стоимостью. Данный тип многотоннажных отходов требует устройства шламовых амбаров и шламохранилищ, которые загрязняют окружающую природную среду, в том числе территорию Национального парка Бузулукский бор. Количество образованного бурового шлама в рамках одного месторождения может достигать более 25 тыс. т/год [5], что приводит к постоянной необходимости строительства новых полигонов для хранения отходов. Химический и минералогический составы минеральной составляющей исследуемого бурового шлама ПАО «Оренбургнефть» приведены в табл. 4, 5.

Данные табл. 4 показывают, что химический состав опытных буровых шламов характеризуется рядом особенностей:

1) высокое содержание оксида кальция в виде кальцита и доломита, красящего оксида железа, который в совокупности со щелочными оксидами будет способствовать интенсификации спекания в процессе обжига;

2) низкое содержание глинозема свидетельствует о низкой огнеупорности техногенных продуктов, что позволяет не увеличивать температуру обжига кирпича;

3) высокие потери при прокаливании указывают на значительные органические примеси, что может привести в процессе обжига к появлению черной сердцевины в кирпиче [6, 7].

Основные усредненные физико-технические свойства проб бурового шлама Покровского, Бобровского и Вахитовского месторождений после прохождения каскадного ситового обогащения, центрифугирования и обезвреживания с влажностью более 80% при рН=11,85 приведены в табл. 6.

Данные этапы подготовки выполняются на площадках шламохранилищ, что позволяет отгружать техногенное сырье для непосредственного применения в производстве кирпича.

На первом этапе разработки технологии в соответствии с методикой эксперимента проводился подбор составов двухкомпонентной системы глина–буровой шлам в зависимости от соотношения компонентов ших-

ты и режима обжига. Сырьевые компоненты, смеси, образцы готовили по стандартной методике. Контроль степени спекания керамических образцов проводился по показателям: водопоглощение (W), %; средняя плотность ( $\rho_0$ ), г/см<sup>3</sup> и предел прочности при сжатии ( $R_{сж}$ ), МПа [8]. На основе полученных результатов для дальнейших исследований приняты керамические массы, в которых количество техногенного сырья изменялось от 0 до 40 мас. %.

Предварительно проведенные эксперименты свидетельствуют о низкой спекаемости бурового шлама, взятого в насыпном виде с полигона. Поэтому для получения удовлетворительных механических характеристик необходимо было бы увеличить температуру обжига как для тугоплавкого сырья – в пределах 1050–1350°С. Однако данное технологическое решение неизбежно приведет к увеличению энергозатрат и в целях дальнейшего исследования неприемлемо.

**Таблица 6**

Свойства бурового шлама	Ед. изм.	Величина
Истинная плотность в сухом состоянии	кг/м <sup>3</sup>	2544
Насыпная плотность в сухом состоянии	кг/м <sup>3</sup>	835
Исходная средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	1056
Средний размер частиц шлама	мкм	26,2
Коэффициент усушки	–	1,05
Огневая усадка при температуре 950–1050°С	%	4,7–6,3
Нижняя граница текучести	%	16,3
Граница раскатывания	%	14,2
Число пластичности	%	8,2
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ по ГОСТ 30108–94)	Бк/кг	270

Химический состав тарного стеклобоя

Массовая доля компонентов, %							
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	ППП
67,4	5,81	1,76	7,21	3,38	12,73	2	–

Для решения данной проблемы с целью повышения плотности и прочности синтезированного искусственного композиционного камня была выбрана методика дополнительного введения в шихту стеклобоя в качестве плавня в количестве от 5 до 15 мас. %. Как наиболее перспективное для этих целей подходит тарное стекло по ГОСТ 54170–2010, количество которого на территории Оренбургской области, по данным областной целевой программы «Отходы» на 2011–2016 гг. составляет более 35 тыс. т [9].

В лаборатории стеклобой предварительно измельчался до крупности частиц 0,3 мм. Химический состав стеклобоя представлен в табл. 7.

Данные таблицы показывают, что в тарном стекле присутствует повышенное количество оксида натрия. Это позволяет использовать его для понижения температуры образования жидкой фазы, характеризующейся более низким поверхностным натяжением по сравнению с калиевой, и активации формирования новых кристаллических фаз. Так как керамический камень стеновых изделий может иметь широкую цветовую гамму, наличие оксидов-хромофоров в стекле (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) не регламентируется.

На основе полученных экспериментальных данных с применением компьютерного обеспечения были получены уравнения и построены регрессионные зависимости, описывающие влияние количества стеклобоя, буровых шламов и давления прессования на физико-механические свойства изделий после обжига (рис. 1–3). Наибольший интерес с позиции утилизации техногенных продуктов представляют составы с содержанием 40% бурового шлама.

Согласно требованиям нормативных документов, средняя плотность керамического кирпича изменяется в пределах 1,6–1,9 г/см<sup>3</sup>. Поэтому в составах, содержащих 40% шлама, добавка стеклобоя может изменяться от 5 до 15%, при этом давление прессования соответственно возрастает от 2,5 до 5 т (рис. 1).

Другим важным показателем, влияющим на качество кирпича, является водопоглощение. Согласно ГОСТ 530–2012 этот показатель должен быть не ниже 6%. Верхний же его предел зависит от вида кирпича и тех условий, в которых он будет работать: рядовой – 12–14%; лицевой – 8–10%; кирпич, используемый во внутренних рядах кладки и для строительства перегородок, может обладать водопоглощением до 16%. Поэтому при изменении водопоглощения в интервале 6–16% давление формования может изменяться от 2,8–4,5 т при вводе стеклобоя в количестве 5% и от 3 до 5 т при вводе стеклобоя в количестве 15% (рис. 2).

В исследуемых диапазонах добавки стеклобоя и давления прессования согласно данным рис. 3 можно получить керамический кирпич с пределом прочности при сжатии от 12,5–17,5 МПа. Повышение механической прочности при вводе модифицирующей щелочной добавки обеспечивается формированием низкотемпературных аморфно-кристаллических фаз. Это возможно, так как по законам гетеродиффузии частицы с меньшей поверхностной энергией, характеризующиеся низкой температурой плавления, адсорбируются на частицах с большей поверхностной энергией, более высокой температурой плавления. Перенос массы вещества в условиях твердофазного спекания осуществляется диффуз-

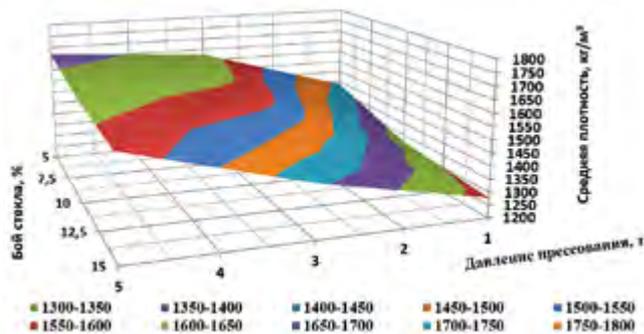


Рис. 1. Изменение средней плотности изделий при содержании бурового шлама в шихте в количестве 40%

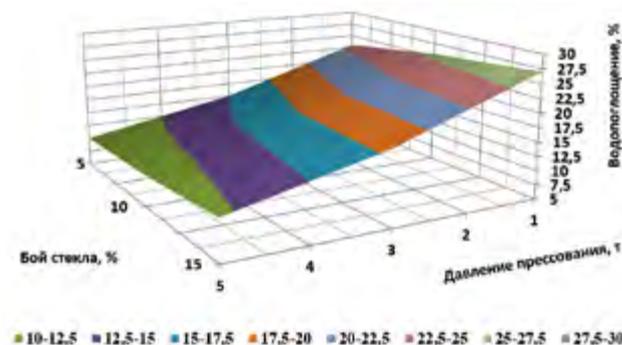


Рис. 2. Изменение водопоглощения изделий при содержании бурового шлама в шихте в количестве 40%

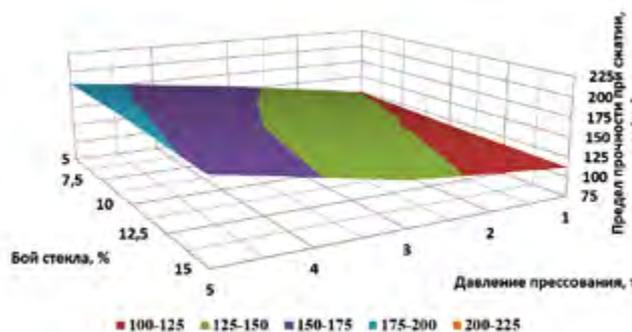


Рис. 3. Изменение предела прочности при сжатии изделий при содержании бурового шлама в шихте в количестве 40%

ным методом преимущественно по поверхности. В результате малой энергии активации поверхностная диффузия протекает при сравнительно низкой температуре, приводя, согласно данным РФА, к образованию рентгеноаморфных фаз типа: метаклоинит Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>, гематит α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, анортит CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>, стеклофаза, формирующихся за счет оксидов CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, R<sub>2</sub>O. Полученные результаты минералогического состава обожженного керамического камня согласуются с работами [10, 11].

При понижении давления прессования и расхода стеклобоя по результатам экспериментальных исследований установлена возможность получения строительного керамического кирпича с плотностью 1,46–1,27 г/см<sup>3</sup> и прочностью 8–12 МПа, что не противоречит данным [12].

Согласно нормативным требованиям изделия с такими физико-техническими свойствами относятся к классу эффективных. При этом использование нефтешламов в составе керамических масс не требует специальных подготовительных технологических процессов в условиях завода – дополнительной термической обработки и способствует утилизации его значительного объема.

Результаты лабораторных исследований двух- и трехкомпонентных составов масс, давления формования сырьевых шихт были апробированы в полупромышленных условиях. Готовые изделия, по данным лаборатории ЗАО «Оренбургнефть», безопасны. Исследованные этапы приняты за основу при разработке энерго- и ресурсосберегающей технологии керамического кирпича с применением низкосортных легкоплавких глин и тех-

ногенных продуктов нефтяных месторождений Оренбуржья, характеризующихся повышенным содержанием карбонатов Са. Проведенные полупромышленные испытания позволили установить, что изделия, прошедшие сушку и обжиг в заводских условиях, спустя 5–7 сут увеличивались в объеме. Это сопровождалось образованием трещин и локальным разрушением образцов. Данное явление, по мнению авторов, связано с применением высококальцинированных масс. В связи с этим для улучшения комплекса физико-технических свойств кирпича опытных составов необходимы дальнейшие исследования влияния тонкости помола, его продолжительности на спекание и структуру изделий на основе техногенных шламов и низкосортных легкоплавких глин.

**Список литературы**

1. Портал Правительства Оренбургской области: План мероприятий Правительства Оренбургской области по реализации Стратегии социально-экономического развития ПФО на период до 2020 года на территории Оренбургской области [www.orenburg-gov.ru/strateg/2030](http://www.orenburg-gov.ru/strateg/2030).
2. Кувыкин Н.А., Бубнов А.Г., Гриневиц В.И. Опасные промышленные отходы. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун.-т. 2004. 148 с.
3. Жуков А.А. Результаты контрольно-надзорной деятельности в части обращения с отходами производства и потребления Управления Росприроднадзора по Оренбургской области по итогам 9 месяцев и задачи на IV квартал 2012 года. Оренбург: Управление Росприроднадзора, 2012. 26 с.
4. Магид А.Б., Купцов А.В., Шайбаков Р.А. Технологические процессы переработки нефтешламов // *Вестник АИИИГ*. 2005. № 6–7. С. 82–86.
5. Полигон по утилизации и переработке отходов бурения и нефтедобычи: Принципиальные технологические решения. Кн. 3. Разработка принципиальных технологических решений по обезвреживанию и утилизации буровых шламов и нефтезагрязненных песков / Под ред. В.Н. Савельева Сургут: НГДУ, 2006. 101 с.
6. Bolelli G. Plasma – sprayed glass-ceramic coatings on ceramic tiles: microstructure, chemical resistance and mechanical properties. *Journal of the European Ceramic Society*. 2005. T. 25. No. 11, pp. 1835–1853.
7. Bessmertnyi V.S. Plasma rod decorating of household class. *Glass and Ceramics*. 2001. T. 58. No. 5–6, pp. 214–215.
8. Гурьева В.А., Дубинецкий В.В., Вдовин К.М. Буровой шлам в производстве изделий строительной керамики // *Строительные материалы*. 2015. № 4. С. 75–77.
9. Портал Правительства Оренбургской области: Постановление Правительства Оренбургской области № 554-пп от 20.08.2010, об утверждении областной целевой программы «Отходы» на 2011–2016 гг. <http://www.orenburg-gov.ru/Info/Economics/governmentPrograms/RegProgram/perechen2013>.
10. Кара-Сал Б.К., Котельников В.И., Сапелькина Т.В. Получение керамического стенового материала из вскрышных пород углеобогащения // *Естественные и технические науки*. 2015. № 2. С. 160–163.
11. Яценко Н.Д., Зубёхин А.П. Научные основы инновационных технологий керамического кирпича и управление его свойствами в зависимости от химико-минералогического состава исходного сырья // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 28–31.
12. Кетова Г.Б. Проблемы вторичного использования стеклобоя и пути их решения – Сборник. Промышленная экология на рубеже веков. Пермь: ПНИПУ, 2001. С. 247–252.

**References**

1. Portal of the Government of the Orenburg region: the action plan of the Government of the Orenburg region for implementation of the Strategy of socio-economic development of the Volga Federal district for the period up to 2020 on the territory of the Orenburg region [www.orenburg-gov.ru/strateg/2030](http://www.orenburg-gov.ru/strateg/2030).
2. Kuvykina N.A., Bubnov A.G., Grinevich V.I. *Opasnye promyshlennye othody* [Hazardous industrial waste]. Ivanovo: Ivanovo State University of Chemistry and Technology. 2004. 148 p.
3. Zhukov A.A. The results of the control and surveillance activities in the part dealing with Rosprirodnadzor waste production and consumption in the Orenburg region in the first 9 months and the challenges for the IV quarter of 2012. Orenburg: Upravlenie Rosprirodnadzora. 2012. 26 p.
4. Magid A.B., Merchants A.V. Shaybakov R.A. The technological processes of processing sludge. *Vestnik AIIGI*. 2005. No. 6–7, pp. 82–86. (In Russian).
5. Landfill for disposal and recycling of drilling waste and oil: The principal technological solutions. Bk. 3. Working principle of technological solutions for the disposal and recycling of drilling sludge and oil-contaminated sand / ed. by Saveleva V.N. Surgut: oil and gas production department. 2006. 101 p.
6. Bolelli G. Plasma – sprayed glass-ceramic coatings on ceramic tiles: microstructure, chemical resistance and mechanical properties. *Journal of the European Ceramic Society*. 2005. T. 25. No. 11, pp. 1835–1853.
7. Bessmertnyi V.S. Plasma rod decorating of household class. *Glass and Ceramics*. 2001. T. 58. No. 5–6, pp. 214–215.
8. Gurieva V.A., Dubinetsky V.V., Vdovin K.M. Drilling Slurry in Production of Building Ceramic Products. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 28–31. (In Russian).
9. Portal of the Government of the Orenburg region: The resolution of the Government of the Orenburg region No. 554-PP dated 20.08.2010 on the approval of the regional target program «Waste» for the years 2011–2016. <http://www.orenburg-gov.ru/Info/Economics/governmentPrograms/RegProgram/perechen2013>.
10. Kara-Sal B.K., Kotelnikov V.I., Sapelkina T.V. Production of ceramic wall material from overburden coal preparation. *Estestvennye i tehicheskie nauki*. 2015. No. 2, pp. 160–163 (In Russian).
11. Yatsenko N.D., Zubjohin A.P. Scientific basis of innovative technologies of ceramic bricks and management of its properties, depending on the chemical and mineralogical composition of the raw material. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 28–31. (In Russian).
12. Ketova G.B. Problems of secondary use of cullet and ways of their solution. Collection. Industrial ecology at the turn of the century. Perm: Perm National research Polytechnic University. 2001, pp. 247–252.

# YugBuild

## WorldBuild Krasnodar

Организатор  
выставки



Генеральный спонсор



Официальный  
информационный  
партнер



Спонсор раздела  
«Оборудование для  
водоснабжения и канализации»



Спонсор раздела  
«Строительные материалы»



Рекомендатель  
информационный партнер



**Международная  
выставка**  
строительных и отделочных  
материалов, инженерного  
оборудования и архитектурных  
проектов

[worldbuild-krasnodar.ru](http://worldbuild-krasnodar.ru)



28 февраля -  
3 марта 2017

12+

Краснодар  
ул. Конгрессная, 1  
ВКК «Экспоград Юг»



# Крым Стройиндустрия Энергосбережение

**МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА**

- Современные строительные материалы и технологии. Краски, лаки.
- Строительные машины и механизмы. • Окна, двери.
- Сантехника. • Экология. Системы очистки воды.
- Системы отопления, вентиляции и кондиционирования.
- Электротехническое и осветительное оборудование.
- Энергосбережение и использование нетрадиционных экологически чистых источников энергии.
- Системы автоматизации. Программное обеспечение предприятий строительной, энергетической, электротехнической отраслей промышленности.



Оргкомитет: г. Симферополь, ул. Горького, 8, оф. 27,  
моб.: +7 978 78 178 83, т./ф.: +7(3652) 54-60-66, 54-67-46,  
E-mail: [marketing@expoforum.biz](mailto:marketing@expoforum.biz), <http://expoforum.biz/>

**2017**  
**Весна**  
30 марта  
— 1 апреля  
г. Симферополь,  
ул. Киевская, 115,  
ДКП



# К 60-летию Юрия Эммануиловича Васильева

Юрий Эммануилович Васильев, д-р техн. наук, профессор, родился 2 декабря 1956 г. в Москве в семье дорожника. Закончив с отличием Московский автомобильно-дорожный институт, он остался работать на кафедре дорожно-строительных материалов под руководством известных советских ученых С.В. Шестоперова и Л.А. Феднера, где прошел путь от инженера до профессора. В 1990 г. защитил кандидатскую, а в 2012 г. — докторскую диссертацию.

Юрий Эммануилович ведет активную практическую деятельность. Он принимал непосредственное участие в работах по научно-техническому сопровождению реконструкции МКАД (1993–1996 гг.), руководил работами по капитальному ремонту Крылатского моста (2002 г.), Бауманской улицы (2003 г.), строительством экспериментальных участков покрытия на МКАД (2006–2010 гг.), в Таганском тоннеле (2010 г.), ул. Лобачевского (2013 г.) и т. д. По заданию Правительства Москвы возглавлял работы по проектированию и созданию автомобильно-дорожного сканера «АДС-МАДИ» (2007 г.). С 2007 г. руководит работой по диагностике московской улично-дорожной сети. Профессор Ю. Э. Васильев многие годы является научным руководителем созданной С.В. Шестоперовым отраслевой научно-исследовательской лабораторией «Цемент», а также проекта «Развитие производств модифицированной серы для выпуска серобетонных и сероасфальтобетонных смесей», поддержанного Агентством стратегических инициатив (АСИ). С 2012 г. возглавляет Дирекцию инновационного развития инфраструктуры МАДИ, руководит проектом по созданию универсального комплекса для испытания дорожных покрытий и автомобильных шин, реализованным на территории УИЦ МАДИ.

Юрий Эммануилович активно работает в ряде научно-технических советов: Департамента жилищно-коммунального хозяйства и благоустройства, объединенного Совета по вопросам градостроительной политики и строительства Москвы; Государственной компании «Российские автомобильные дороги»; Главного управления дорожного хозяйства Московской области. Он авторитетный эксперт Минтранса России, РАН, ФГБНУ НИИ РИИИ.

Является членом правления Российского общества инженеров строительства (РОИС), членом Международного общества по инженерной педагогике (IGIP), Американского общества по испытанию материалов (ASTM), Американского института бетона (ACI).

Профессиональное сообщество высоко оценивает вклад Юрия Эммануиловича в развитие отраслевой науки, образования и производства. Ему присвоены звания «Почетный дорожник России» (1999 г.), «Почетный транспортный строитель» (2003 г.), «Почетный строитель России» (2006 г.), «Почетный работник Роснефтегазстроя» (2006 г.). В 2015 г. он удостоен почетного звания Российской академии естествознания «Заслуженный деятель науки и образования». Также профессор Ю. Э. Васильев награжден рядом медалей и нагрудных знаков.

Профессор Ю. Э. Васильев является членом редакционных коллегий отраслевых журналов. Им опубликовано более 300 печатных работ, он автор 51 патента Российской Федерации.

Коллеги, друзья, коллектив редакции журнала «Строительные материалы»<sup>®</sup> искренне поздравляют Юрия Эммануиловича с 60-летием и желают крепкого здоровья, больших творческих успехов и благополучия.

УДК 625.7/.8

Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ, д-р техн. наук (vashome@yandex.ru), Г.А. ПОНАРИН, инженер

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (125319, г. Москва, Ленинградский пр-т, 64)

## Взаимодействие шипованных шин с дорожным покрытием

Проведено численное исследование динамического разрушения дорожного полотна в результате воздействия шипа противоскольжения в условиях низкой температуры. Предполагалось разрушение скрепляющего материала – битума марки БНД 60/90. Моделирование проводилось при помощи метода конечных элементов с использованием критерия разрушения на основе инкубационного времени. Динамические свойства материала были получены экспериментально. В эксперименте был задействован универсальный комплекс для испытания дорожных покрытий и автомобильных шин «Карусель».

**Ключевые слова:** дорожное покрытие, шипы, универсальный комплекс «Карусель».

Yu.E. VASIL'EV, Doctor of Science (Engineering) (vashome@yandex.ru), G.A. PONARIN, Engineer

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (64, Leningradskoe Avenue, Moscow, 125319, Russian Federation)

### Interaction of Studded Tires with Road Pavement

A numerical study of the dynamic fracture of the roadbed as a result of the effect of an anti-skid stud under the low temperature has been conducted. The fracture of a binding material, bitumen of BND 60/90 mark, was assumed. The simulation was conducted with the help of the finite element method with the use of the fracture criterion on the basis of the incubation time. Dynamic properties of the material were experimentally obtained. The universal complex for testing road pavements and automobile tires «Carousel» was used in the experiment.

**Keywords:** road pavement, studs, universal complex «Carousel».

Использование шипованных шин является предметом споров со времени их появления на рынке [1]. В то время как шипованные шины способствуют безопасности движения в зимних условиях за счет обеспечения

сцепления шин с заледенелым дорожным покрытием, не стоит забывать, что они причиняют и огромный ущерб последнему [2–3]. Следовательно, одна из главных задач — это минимизация ущерба дорожного по-



Рис. 1. Легковой и грузовой модули универсального комплекса «Карусель»

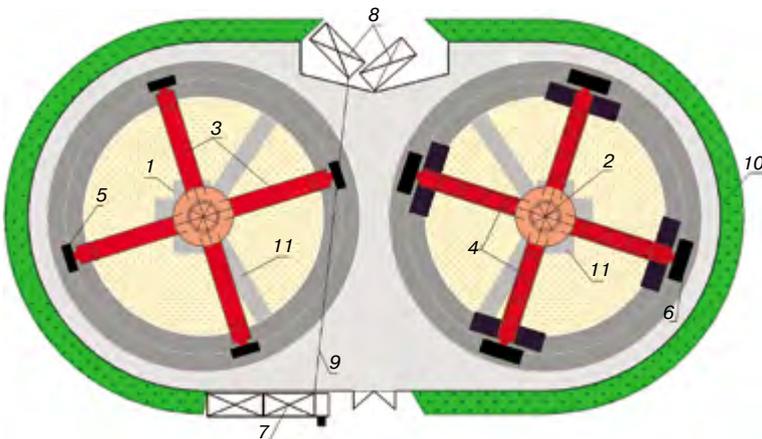


Рис. 2. Схема универсального комплекса «Карусель» для испытания дорожных покрытий и автомобильных шин: 1 – легковой модуль; 2 – грузовой модуль; 3 – штанги легкового модуля; 4 – штанги грузового модуля; 5 – колесо легкового модуля; 6 – колесо грузового модуля; 7 – центр управления комплексом; 8 – подсобные помещения комплекса; 9 – электрические коммуникации комплекса; 10 – защитное ограждение комплекса; 11 – подходы к модулю

крытия и при этом обеспечение необходимого сцепления на льду.

Понимание процессов, влияющих на дорожное покрытие при воздействии шипованных шин, может быть получено на основании результатов испытаний на универсальном комплексе «Карусель», который был создан коллективом ученых МАДИ [4–8].

Исследования на полигоне позволяют изучить влияние воздействия шипа на дорожное покрытие при определенной нагрузке и большой интенсивности движения.

Однако для того, чтобы понять процесс и влияние на свойства дорожного покрытия шипованными шинами, требуются определенные методики испытаний.

Износ дорожной одежды определяется количеством потерянной массы покрытия, которая истирается шинами, оснащенными шипами противоскольжения. При использовании оборудования на полигоне потеря массы может быть определена с максимальной точностью и минимальными усилиями.

Образцами для испытания являются плиты размером 305×305×50 мм, которые могут быть отобраны как из дорожного покрытия, так и получены в лаборатории. Испытания проводятся на легковом модуле «Карусель», представляющем собой круглую площадку, в центре которой размещена ось вращения четырех металлических штанг длиной по 15 м. Скорость движения колес по окружности может достигать 140 км/ч (рис. 1).

Параметры	Ед. изм.	Значения
Нагрузка на дорожное покрытие	кг	600
Давление в шинах	бар	2,5
Скорость движения колеса	км/ч	40–130
Масса шипа	г	0,7–2,4

Стенд оборудован:

- датчиком скорости;
- датчиком нагрузки на ось;
- датчиком счета числа оборотов;
- гидравлическими двигателями, установленными на колесах, что позволяет моделировать воздействия ведущих и ведомых колес;
- системой перемещения колеса в радиальном направлении;
- системой, установленной на осях и контролирующей боковой увод колеса.

Для проведения измерений требуется дополнительное оборудование:

- весы;
- комплекс из объемного (3D) сканера с лазерной или световой структурирующей подсветкой;
- термошкаф;
- оборудование для изготовления плит.

Испытания могут проходить в любое время года, в любую погоду. Дополнительно можно насыщать плиты противогололедными реагентами, которые используют при зимнем содержании автомобильных дорог. Они, в свою очередь, способствуют большему разрушению дорожного покрытия.

На плитах устанавливают реперы для дальнейшего исследования поперечного профиля оптической камерой. Образцы устанавливают в дорожное покрытие сериями по пять плит заподлицо с дорожным покрытием по траектории движения колеса.

В таблице приведены параметры универсального комплекса «Карусель», принятые для проведения исследований.

Можно предполагать линейную зависимость влияния массы шипа противоскольжения на износ дорожного покрытия, так как при увеличении массы шипа в два раза износ дорожного покрытия увеличивается примерно в два раза. Уменьшив массу шипа, уменьшается и износ (рис. 3).

Дорожное покрытие было протестировано на износ при различных скоростях движения. Результат показал, что с увеличением скорости движения износ дорожного покрытия существенно увеличивается. Наблюдается квадратичная зависимость (рис. 4).

Взаимодействие между шипом противоскольжения и дорожным покрытием можно разделить на различные фазы, как показано на рис. 5.

Первая фаза описывает самый начальный момент контакта шипа с дорожным покрытием. Шип движется по окружности вместе с шиной с определенной скоростью по отношению к покрытию и замедляется до нулевой скорости за бесконечно короткое время. После

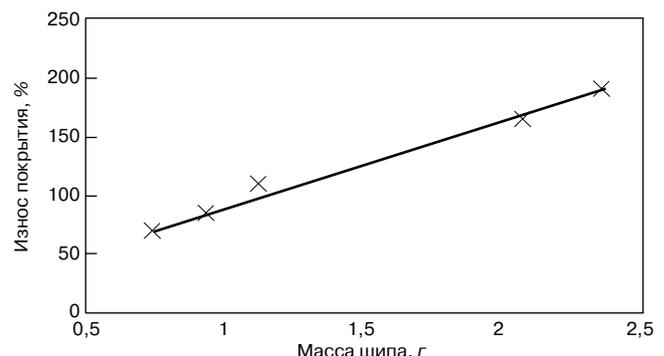


Рис. 3. Влияние массы шипа противоскольжения на износ дорожного покрытия

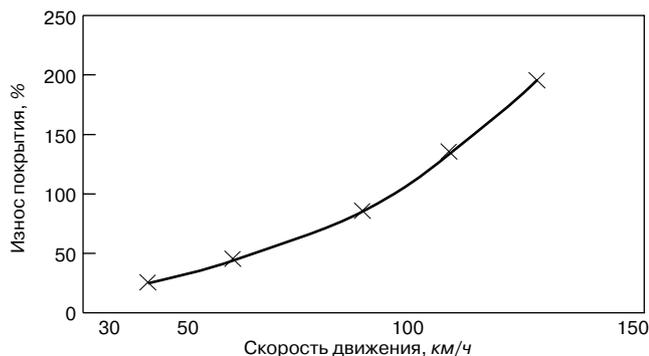


Рис. 4. Влияние скорости движения колеса на износ дорожного покрытия

этого этапа движение шипа прекращается в точке контакта между шипом и покрытием, по крайней мере в течение некоторого времени.

Благодаря выступу над протектором шип контактирует с покрытием раньше, чем резина. Это занимает некоторое время, пока шип не войдет в пятно контакта, т. е. где шина коснется дорожного покрытия. Это происходит во второй фазе. На этом этапе шип внедряется в протектор и в зависимости от материала дорожного покрытия внедряется и в покрытие. В случае таких покрытий, как лед, шип внедряется очень легко, а что касается твердого покрытия, например асфальтобетона, то труднее. В пятне контакта скорее всего не происходит скользящего движения. Так как контакт шипа в резине жесткий, ожидаемые значения перемещения малы.

В третьей фазе шипы противоскольжения и протектор прилипают к покрытию дороги или отклоняются, если шина проскальзывает. Возможно смещение относительно второй фазы.

В четвертой фазе происходит переход от прилипания к скольжению в зависимости от трения между покрытием дороги и шипом или резиной. Соответственно, один из них начнет скользить. Другой будет по-прежнему прилипшим к покрытию, пока не будет достигнут предел сцепления из-за дальнейших перемещений или относительного смещения между шипом и резиной.

Наконец, учитывая достаточно высокую величину скольжения, в пятой фазе начинается скольжение протектора и шипа. Называется такая фаза фазой скольжения. В фазах четыре и пять (рис. 5), когда шип находится в скольжении, он может глубже врезаться в покрытие, в зависимости от его прочности.

Шестую фазу можно считать как фазу 2, только в обратную сторону; осуществляется путь от задней кромки пятна контакта в точку, где шип теряет контакт с поверхностью дороги. На этом этапе смещение уменьшается, что приводит к дополнительному взаимному перемещению шипа и покрытия. Кроме того, нагрузка на шип уменьшается, как и сила вдавливания его в шину.

Как упоминалось, первый контакт между шипом и покрытием можно считать ударным воздействием. Шип ускоряется или замедляется, чтобы повлиять на скорость, т. е. кинетическая энергия полностью должна израсходоваться. С одной стороны, это может быть достигнуто путем проникновения в шину, т. е. превращения в энергию деформации или путем отвода за счет резинового демпфирования, с другой — энергия удара может перейти во врезание шипа в покрытие. При столкновении шипа с покрытием упругими и демпфирующими процессами можно пренебречь, так как это бесконечно короткие воздействия. Таким образом, можно предположить, что большая кинетическая энергия расходуется на повреждение покрытия, это обусловлено большей плотностью шипа противоскольжения, и толь-

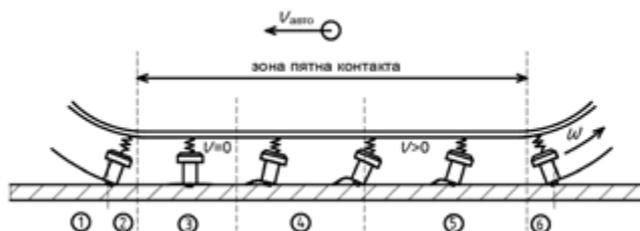


Рис. 5. Фазы взаимодействия шипа с дорожным покрытием

ко незначительная часть энергии тратится на повреждение самого шипа.

Из представленных результатов испытаний видно, что масса шипа является важным параметром износа дорожного покрытия. Эффект от массы шипа может быть объяснен процессом повреждения поверхности контакта при ударе.

Процесс повреждения и его последствия также прогнозируют сильное влияние на скорость движения. Результаты испытания показывают, что износ дорожного покрытия существенно увеличивается с увеличением скорости движения.

Испытания показали, что шипованные шины имеют разрушительное влияние на дорожное покрытие, но тем не менее мы не можем отказаться от использования шипованных шин, так как в зимний период на обледенелом покрытии с помощью шипов улучшается сцепление с дорогой, что позволяет предотвратить ДТП.

**Выводы.**

Представленные методы испытаний могут быть использованы для определения степени износа дорожного покрытия, вызванного шипованными шинами. Использование серий плит позволяет легко и точно определять изменение объема.

Установлено, что масса шипа и скорость движения автомобиля являются наиболее важными параметрами, влияющими на износ дорожного покрытия шипованными шинами.

Представлен метод испытания взаимодействия шип — дорожное покрытие.

Рассмотрены различные процессы, при которых происходит износ дорожного покрытия шипованными шинами. Процессы объясняют полученные результаты исследований, позволяют прогнозировать, как в дальнейшем изменится износ дорожного покрытия. Исследования помогут лучше понять процессы, в частности влияние скорости на износ дорожного покрытия.

**Список литературы**

1. Unhola T. Over-run-test. A report of the stages of the development of the test and the determination criteria of the type approval limits. Vol. 25. Trafi Publications 8-2015. [http://www.trafi.fi/filebank/a/1443099473/5f902a86540c5a49632c2b35263d603f/18583-Trafi\\_Publications\\_08-2015\\_-\\_Overruntestreport.pdf](http://www.trafi.fi/filebank/a/1443099473/5f902a86540c5a49632c2b35263d603f/18583-Trafi_Publications_08-2015_-_Overruntestreport.pdf)
2. Mats G. Olle E. Emission of inhalable particles from tyreed tyre of road pavements. A comparative study. 2015. Vol. 70. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:822404/FULLTEXT01.pdf>
3. Поздняков М.К. Влияние свойств асфальтобетонных смесей на сопротивляемость колееобразованию // *Строительные материалы*. 2011. № 10. С. 22.
4. Патент РФ № RU 96657 U1, МПК G01M7/00, G01M7/06, E01F11/00. Способ измерения и регистрации технико-экономических показателей поверхности покрытия дорожной одежды и функциональный комплекс для его осуществления (варианты) / Приходько В.М., Васильев Ю.Э. и др. Приор. от 04.03.2010.

5. Патент РФ № RU 2400594 C1, МПК E01C23/07, G01B5/28, G01C7/04. Способ измерения и регистрации технико-экономических показателей поверхности покрытия дорожной одежды и функциональный комплекс для его осуществления / Приходько В.М., Васильев Ю.Э. и др. Приор. от 26.01.2009.
6. Братишев И.С., Воейко О.А. Универсальный кольцевой стенд для оценки износостойкости материалов дорожного покрытия // *Материалы лауреатов конкурса дипломных проектов и бакалаврских работ на дорожно-строительном факультете МАДИ*. М.: МАДИ, 2011.
7. Васильев Ю.Э., Приходько В.М. К вопросу обеспечения качества дорожных покрытий // *Строительные материалы*. 2011. № 10. С. 45.
8. Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Прудкий А.В. и др. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеиности // *Дорожная техника*. 2010. С. 114–128.

## References

1. Unhola T. Over-run-test. A report of the stages of the development of the test and the determination criteria of the type approval limits. Vol. 25. Trafi Publications 8-2015. [http://www.trafi.fi/filebank/a/1443099473/5f902a86540c5a49632c2b35263d603f/18583-Trafi\\_Publications\\_08-2015\\_-\\_Overruntestreport.pdf](http://www.trafi.fi/filebank/a/1443099473/5f902a86540c5a49632c2b35263d603f/18583-Trafi_Publications_08-2015_-_Overruntestreport.pdf)
2. Mats G. Olle E. Emission of inhalable particles from tyre tread of road pavements. A comparative study. 2015. Vol. 70. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:822404/FULLTEXT01.pdf>
3. Pozdnyakov M.K. Influence of asphalt concrete mixes properties on resistance to rut formation. *Stroitel'nye*

- Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 10, p. 22. (In Russian).
4. Patent RF No. RU 96657 U1, IPC G01M7/00, G01M7/06, E01F11/00. *Sposob izmereniya i registratsii tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei poverkhnosti pokrytiya dorozhnoi odezhdy i funktsional'nyi kompleks dlya ego osushchestvleniya (varianty)* [A method for measuring and recording the technical and economic performance of the coating surface of the pavement and functional complex for its implementation (options)]. Prikhodko V.M., Vasilev Yu.E. and etc. Pryor. from 04.03.2010. (In Russian).
5. Patent RF No. RU 2400594 C1, IPC E01C23/07, G01B5/28, G01C7/04. *Sposob izmereniya i registratsii tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei poverkhnosti pokrytiya dorozhnoi odezhdy i funktsional'nyi kompleks dlya ego osushchestvleniya* [A method for measuring and recording the technical and economic performance of the coating surface of the pavement and functional complex for its implementation]. Prikhodko V.M., Vasilev Y.E. and etc. Pryor. from 26.01.2009. (In Russian).
6. Bratishev I.S., Voeikov O.A. Universal ring stand to assess durability of pavement materials. *Materials laureates bachelor degree projects and work on the road construction department MADi*. Moscow: MADi. 2011.
7. Vasilev Yu.E., Prikhodko V.M. On the issue of the quality of road surfaces. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 10, p. 45. (In Russian).
8. Mozgovoy V.V., Onishchenko A.N., Prudkiy A.V. et al. Experimental evaluation of the stability of asphalt concrete pavement rutting. *Dorozhnaya tekhnika*. 2010, pp. 114–128. (In Russian).

## Универсальный комплекс для испытаний дорожных покрытий и автомобильных шин «Карусель»

Предоставляем услуги по проведению испытаний на износостойкость дорожных покрытий всех типов эксплуатируемых автомобильных дорог, в том числе испытаний новых покрытий или материалов, внедряемых или применяемых для строительства автомобильных дорог на территории России.



Генеральный директор ООО «МИП «ТЕХНОПАРК МАДИ»  
д-р техн. наук., проф. Васильев Юрий Эммануилович  
Адрес: 125319, Москва, Ленинградский проспект, д. 64, ауд. 136 (МАДИ)  
Тел.: (499) 155-07-65  
E-mail: cmit-madi@mail.ru

Реклама

И.В. КАРАКОЗОВА, канд. техн. наук, начальник отдела методологии разработки и актуализации нормативно-методических документов в строительстве (KarakozovaI@str.mos.ru)

Государственное автономное учреждение города Москвы «Научно-исследовательский аналитический центр» (ГАУ «НИАЦ») (125047, г. Москва, ул. 1-я Брестская, д. 27)

## Классификация и кодирование элементов для нужд строительной отрасли

Рассматриваются теоретические вопросы создания информационной системы для строительной отрасли в части разработки классификаций различных элементов, например объектов, видов работ, конструктивных решений, изделий, полуфабрикатов, строительных машин, механизмов и др. Дается краткая информация об используемых в настоящее время в строительстве системах классификации и подходах к кодированию. Отмечено, что в строительстве целесообразнее использовать фасетно-иерархический метод классификации и последовательный метод кодирования. Приводится порядок формирования кода с использованием классификатора ОКПД 2 для отдельного элемента классификации на примере объекта образования. На примере надземной части здания показано формирование классификатора конструктивных решений зданий/сооружений, а также создание кода отдельных элементов на основе классификатора ОКПД 2.

**Ключевые слова:** объект капитального строительства, информационная система, фасетно-иерархическая система классификации, системы кодирования.

I.V. KARAKOZOVA, Candidate of Sciences (Engineering), Head of Department of Methodology, Development and Actualization of Normative-Methodical Documents in Construction (KarakozovaI@str.mos.ru) State Autonomous Institution of Moscow «Scientific Research Center» (GAU «NIATS») (27, 1<sup>st</sup> Brestskaya Street, 125047, Moscow, Russian Federation)

### Classification and Coding of Elements for Needs of Construction Industry

Theoretical issues of creating the information system for construction industry as related to the development of classification of various elements, for example, objects, types of works, structural solutions, products, semi-finished products, building machines, mechanisms etc. are considered. Brief information on the classification systems and approaches to coding which are currently used in construction is presented. It is noted that it is better to use the facet-hierarchical method of classification and the successive method of coding. The order of the code formation with the use of a classifier OKPD 2 for an individual element of the classification is presented on the example of an educational object. The formation of the classifier of structural solutions of buildings and structures as well as the creation of the code of some elements on the basis of the classifier OKPD 2 is shown on the example of an aboveground part of the building.

**Keywords:** capital construction object, information system, facet-hierarchical system of classification, coding systems.

Задача формирования достоверных и полных сметных затрат в строительстве была и остается одной из важнейших в отрасли. Поскольку особенностью реализации любого объекта капитального строительства является определение сметных затрат задолго до начала строительства, то при их расчете следует учитывать не только факторы, влекущие за собой изменение запланированных сметных затрат, но и все ресурсы, используемые в процессе реализации проектного решения, получившего отражение в проектной документации, в том числе сметной ее части.

В последнее время при проектировании широко используется в качестве технологии компьютерного проектирования информационное моделирование объектов, в основе которого лежит организованная и управляемая информация об объекте в виде числового описания. В результате формируется объектно-ориентированная цифровая модель как всего объекта, так и процесса организации его строительства, на основе которой возможно определение оптимального количества используемых ресурсов (материальных, технических и др.) и необходимой величины предварительных затрат для реализации проектного решения.

Для создания такой цифровой модели применяются различные системы классификаций и кодирования элементов. К используемым в строительстве классификаторам относятся, например, Общероссийский классификатор единиц измерения (ОКЕИ), Общероссийский классификатор продукции (ОКП), Общероссийский классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД), Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности (ОКПД) и др.

Несмотря на большую работу, проводимую в этой области, вопрос создания и использования отраслевой системы классификации элементов и подходов к их кодированию (И.В. Каракозова. Методы управления материально-техническими ресурсами и нормирования их расхода в строительных организациях. Автореф. дисс... канд. техн. наук; 05.02.22. М.: МГСУ, 2007) остается одним из основных [1–5].

*Цель работы* – сформировать подходы к разработке отраслевой системы классификации и кодирования элементов для дальнейшей проработки вопроса о создании оптимального классификатора строительных ресурсов. *Актуальность статьи* обусловлена тем, что в настоящий момент вопросам максимального контроля и учета бюджетных средств в российской строительной отрасли уделяется самое пристальное внимание: Минстроем России реализуется масштабная реформа системы сметного нормирования и ценообразования, призванная установить базовые, системообразующие правила создания и функционирования системы формирования достоверной стоимости строительства, реконструкции, технического перевооружения, капитального и текущего ремонта объектов, финансируемых с привлечением средств бюджетной системы Российской Федерации. В данном контексте *практически значимым представляется* развивать научный дискурс об упорядочении всей системы формирования сметных стоимостей строительства объектов, финансируемых из государственного бюджета, для выработки дальнейшей стратегии развития. *Научная новизна работы* – в подходе к рассмотрению поставленных вопросов: аргументация в статье подкрепляется практическими результатами

применения различных систем классификаций и кодирования, а также результатами многолетней работы в области разработки классификаторов материально-технических ресурсов.

Строительный проект можно представить как многофункциональную систему, в которой элементами выступают различные группы ресурсов: информационные, финансовые, трудовые, природные, материальные, технические, организационные и др. Информация как один из основных видов ресурсов создается, обрабатывается и используется на всех стадиях жизненного цикла строительного объекта от замысла проекта до ликвидации строительного объекта. При этом объектом капитального строительства, согласно Градостроительному кодексу города Москвы [6], могут выступать здания, строения, сооружения, включая линейные объекты, подземные, надземные сооружения, а также комплексы зданий, строений, сооружений, неразрывно связанных между собой общей территорией и общими архитектурно-градостроительными, объемно-пространственными, функциональными, инженерно-техническими, технологическими и иными решениями.

Создание объекта капитального строительства, включая формирование его стоимости строительства (реконструкции, капитального ремонта), сопровождается использованием огромного количества элементов в информационной системе: объектов, процессов, документов, нормативов и др., а также обширного перечня ресурсов, используемых как для возведения, так и для оснащения объектов, к которым относятся материалы, изделия, конструкции, полуфабрикаты, машины, механизмы, оборудование, инструменты, аппараты, инвентарь, мебель и др.

Все элементы системы классифицируются в отдельные группы на основе типологии как одного из методов научного познания, основным принципом которого является выделение в обозначенных группах устойчивых характеристик: признаков, функций, свойств, связей и др. Методы классифицирования можно разделить

на дедуктивные, т. е. заранее предопределяющие схему разбиения объектов на группы, и индуктивные – группирующие отдельные объекты по мере выявления их сходства [7, 8].

Согласно Правилам стандартизации «Основные положения и порядок проведения работ по разработке, ведению и применению общероссийских классификаторов» [7], при разработке классификаторов могут использоваться различные классификационные системы, к которым относятся перечислительная, иерархическая, фасетная и др. Однако наиболее широко используется иерархическая система классификации, позволяющая группировать большие массивы информации разного объема в процессе построения дерева классов. При этом в процессе построения иерархической классификации следует заранее создавать упорядоченное множество признаков групп. К таким классификациям, используемым в строительстве в настоящее время, относятся Общероссийский классификатор продукции ОК 005–93, действующий до 01.01.2017, и Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности ОК 034-2014 (КПЕС 2008) (далее – ОКПД 2), введенный в действие с 01.02.2014 взамен ряда классификаторов, к которым относится и ОК 005–93 [9, 10].

Данные классификаторы представляют собой систематизированный свод кодов и группировок различных видов продукции, в том числе строительной, построенных по иерархической системе классификации. Использование данной системы классификации можно считать целесообразным, поскольку в этом случае каждая ступень классификации выступает как совокупность сходных по одному признаку классификационных объектов, а различия между ними могут фиксироваться на различных ступенях классификации. Однако недостаточная гибкость такой системы за счет жесткой фиксации признаков и установленного порядка их следования не позволяет включать новые признаки деления. Использовать фасетную систему классификации

#### Формирование элемента классификации – объекта капитального строительства на основе ОКПД 2

Класс, подкласс, группа по ОКПД 2	Подгруппа, вид по ОКПД 2	Категория по ОКПД 2	Подкатегория по ОКПД 2	Конструктивное решение			
41 Здания 41.2 Здания 41.20 Здания	41.20.2 Здания нежилые 41.20.20 Здания нежилые	41.20.20.180 Здания предприятий здравоохранения, науки и научного обслуживания, образования, культуры и искусства	41.20.20.183 Здания образовательных учреждений	41.20.20.183.01	Детские дошкольные учреждения		
				41.20.20.183.02	Общеобразовательные школы	41.20.20.183.02.100	Бескаркасное здание школы
						41.20.20.183.02.200	Монолитно-каркасное здание школы
						41.20.20.183.02.300	Каркасно-панельное здание школы
				41.20.20.183.03	Школы-интернаты		
				41.20.20.183.04	Гимназии, лицеи		
				41.20.20.183.05	Музыкальные школы		
				41.20.20.183.06	Средние профессиональные учебные заведения		
				41.20.20.183.07	Высшие профессиональные учебные заведения		
				41.20.20.183.08	Здания прочих образовательных учреждений		

тоже нецелесообразно, поскольку, с одной стороны, она имеет возможность большого охвата или ограничения всех объектов классификации, а также является более гибкой и приспособленной для компьютерной обработки. Однако неподчиненность групп объектов друг другу в такой системе делает ее использование неприемлемым. Поэтому в строительстве разумнее применять смешанную систему, к которой относится фасетно-иерархическая система классификации, представляющая собой заданное множество объектов классификации, которые сначала делятся на независимые подмножества по заданным признакам классификации, а затем последовательно на подчиненные множества, присущие только выбранным объектам. В таблице показан процесс формирования элемента классификации по принципу фасетно-иерархической системы. При этом в качестве элемента системы выступают объекты капитального строительства.

Пример расширения классификации, приведенный в таблице и основанный на использовании структуры ОКПД 2, далее строится с учетом конструктивных решений объектов. При этом код объекта расширяется по типам в зависимости от его назначения и конструктивного решения. На следующем этапе, например для зданий общеобразовательных учреждений, код классификации будет формироваться с учетом наличия/отсутствия пристроенных помещений и количества мест учащихся.

Дальнейшее построение классификации подразумевает расширение информации о принимаемом конструктивном решении здания/сооружения. В этом случае состав информации включает в себя:

- объединенную группу частей объекта капитального строительства;
- отдельную часть объекта капитального строительства в составе объединенной группы;
- элементы в составе выделенной части строительного объекта;
- типы элементов в зависимости от конструктивного решения или принимаемой технологии производства работ;
- группы материальных ресурсов, используемых при выполнении выделенного комплекса работ или конструктивного решения.

На рисунке показан принцип формирования классификатора конструктивных решений зданий/сооружений на примере надземной части здания.

Следует отметить, что при таком формировании кода появляется возможность не только получить полную информацию об элементе, но и использовать ее впоследствии при расчете сметных затрат на строительство объекта. Например, для дверных проемов помимо материала изготовления учитывается их расположение в здании (внутренние, наружные и др.), характер ограждения (глухие, остекленные и др.), способ открывания (раздвижные, открывающиеся в одну сторону и др.), количество полотен (однопольные, двухпольные и др.). При построении классификации и формировании кода также должны учитываться технические параметры материальных ресурсов в соответствии с действующими нормативными документами (ГОСТ, СНИП, ТУ и др.). К таким параметрам могут относиться геометрические размеры, сортность, физико-механические свойства (водопоглощение, износостойкость и др.), вид и тип обработки и др. Такой подход к передаче информации в формате кода об используемом ресурсе позволит полно и точно отразить затраты на строительство объекта, сравнить полученные результаты после реализации проектного решения, а также использовать их при разработке укрупненных показателей сметной стоимости (нормативов цены строительства, нормативов цены конструктивных решений) в слу-



Фрагмент классификатора элементов надземной части здания

чае включения данного проектного решения в разряд повторно применяемых, т. е. типовых.

При построении кодов объектов, работ, ресурсов и др. могут использоваться различные системы кодирования — порядковые, последовательные, параллельные. При использовании фасетно-иерархического метода классификации выбирается последовательный метод кодирования, когда коды на каждой ступени деления зависят от результатов разбиения классификационных элементов на предыдущих ступенях.

Таким образом, основной целью классификации в строительстве является упорядочение информации о заданных элементах, к которым будут относиться объекты, работы, ресурсы, детали и др. В настоящее время наиболее подробная классификация элементов (работ, ресурсов и др.) приводится в действующих сметных нормативах, используемых для расчета сметных затрат в строительстве. Действующие же классификаторы не в полной мере учитывают привязку элементов к строительной отрасли. Перечень объектов/работ в ОКПД 2 в настоящее время формируется на уровне категорий, реже подкатегорий. Комплексы работ на уровне категорий/подкатегорий, представленные в ОКПД 2, не могут использоваться в дальнейшем для разработки укрупненных показателей стоимости строительства объекта в силу отсутствия информации о применяемых строительных технологиях. ОКПД 2 в том виде, в котором он существует, не позволит в полной мере решить задачи, связанные с классификацией и кодированием строительной продукции, поскольку он не ориентирован на конкретную группу пользователей и не отражает условия взаимодействия всех участников инвестиционно-строительного процесса. В связи с чем на сегодняшний день достаточно остро стоит вопрос о необходимости создания отраслевого классификатора. Первым опытом на пути к созданию подобного инструмента стала разработка ГАУ «НИИЦ» укрупненного классификатора материально-технических ресурсов (включая оборудование) в рамках совершенствования территориальной сметно-нормативной базы (ТСН-2001) для Москвы. Дальнейшая работа по созданию классификатора сделает возможным использование его и в информационных системах, применяемых при проектировании и строительстве объектов, а также при управлении ресурсами, логистике и др.

## Список литературы

1. Павлов А.С. Передача информации и распознавание объектов в системах строительного проектирования. М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2003. 272 с.
2. Каракозова И.В. Значимость нормирования ресурсов в строительстве повышается // *Экономика и предпринимательство*. 2013. № 8 (37). С. 280–282.
3. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М.: ДМК Пресс, 2011. 392 с.
4. Karakozova I.V., Pavlov A.S. New principles of codification of material resources and works in construction // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No. 23, pp. 43450–43455.
5. Karakozova I.V. Prerequisites of creation of the general branch informational system in construction // *MATEC Web of Conferences*. 2016. 73, 07014. TPACEE-2016.
6. Градостроительный кодекс города Москвы. Утвержден законом города Москвы от 25.06.2008. № 28.
7. Правила стандартизации ПР 50.1.019–2000 «Основные положения единой системы классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации и унифицированных систем документации в Российской Федерации». Приняты и введены в действие Постановлением Госстандарта России от 25 декабря 2000 г. № 409-ст.
8. Правила стандартизации ПР 50.1.024–2005 «Основные положения и порядок проведения работ по разработке, ведению и применению общероссийских классификаторов». Приняты и введены в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2005 г. № 311-ст.
9. Общероссийский классификатор продукции ОК 005–93, введенный в действие постановлением Госстандарта России от 30.12.1993 г. № 301.
10. Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности ОК 034–2014 (КПЕС 2008), введенный в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31.01.2014 г. № 14-ст.
7. Pravila standartizatsii PR 50.1.019–2000 «Osnovnye polozheniya edinoi sistemy klassifikatsii i kodirovaniya tekhniko-ekonomicheskoi i sotsial'noi informatsii i unifikirovannykh sistem dokumentatsii v Rossiiskoi Federatsii» [Rules of standardization of PR 50.1.019–2000 “Basic provisions of a single classification system and coding of technical and economic and social information and the unified systems of documentation in the Russian Federation”]. No. 409 Sr. are accepted and put into operation by the Resolution of Gosstandart of Russia of December 25, 2000.
8. Pravila standartizatsii PR 50.1.024–2005 «Osnovnye polozheniya i poryadok provedeniya rabot po razrabotke, vedeniyu i primeneniyu obshcherossiiskikh klassifikatorov». [Rules of standardization of PR 50.1.024–2005 “Basic provisions and order of work on development, maintaining and use of the all-Russian qualifiers”]. No. 311 Sr. are accepted and put into operation by the Order of Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of December 14, 2005.
9. Obshcherossiiskii klassifikator produktsii [The All-Russian Product Classifier] ОК 005–93, No. 301 which is put into operation by the resolution of Gosstandart of Russia of 30.12.1993.
10. Obshcherossiiskii klassifikator produktsii po vidam ekonomicheskii deyatel'nosti [The All-Russian Product Classifier by types economic activities] ОК 034–2014 (KPES 2008), put into operation by the Order of Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of 31.01.2014 No. 14 Sr.

## References

1. Pavlov A. S. Peredacha informatsii i raspoznavanie ob'ektov v sistemakh stroitel'nogo proektirovaniya [Information transfer and recognition of objects in systems of construction designing]. Moscow: Novoe tysyacheletie, 2003. 272 p.
2. Karakozova I. V. The importance of regulation of resources in a construction increases. *Economy and an entrepreneurship*. 2013. No. 8 (37), pp. 280–282.
3. Talapov V.V. Osnovy BIM: vvedenie v informatsionnoe modelirovanie zdaniy [BIM bases: introduction in information modeling of buildings]. Moscow: DМК Press, 2011. 392 p.
4. Karakozova I.V., Pavlov A.S. New principles of codification of material resources and works in construction. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. Vol. 10. No. 23, pp. 43450–43455.
5. Karakozova I.V. Prerequisites of creation of the general branch informational system in construction. *MATEC Web of Conferences*. 2016. 73, 07014. TPACEE-2016.
6. Gradostroitel'nyi kodeks goroda Moskvy. Utverzhden zakonom goroda Moskvy [Town-planning code of the



## Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий

Ю.З. Балакшин, В.А. Терехов

Справочное пособие  
М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2012.  
276 с.

Авторы многие годы отдали работе в промышленности строительных материалов и накопили значительный объем знаний и технических документов производстве стеновых материалов не только из опыта работы промышленности в СССР и России, но и многих предприятий Европы, Америки и Азии.

В книге описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Описаны сырьевые материалы для производства цементнопесчаных изделий. Сформулированы специфические требования к сырьевым материалам, а также рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования.

Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу.

Тел./факс: (499) 976-22-08; 976-20-36  
www.rifsm.ru

# Международная научно-техническая конференция «Высокопрочные цементные бетоны: технологии, конструкции, экономика» (ВПБ – 2016)



25–27 октября 2016 г. в Казани прошла Международная научно-техническая конференция «Высокопрочные цементные бетоны: технологии, конструкции, экономика». Инициатором и организатором проведения конференции выступил Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Идею поддержали Российская инженерная академия, Ассоциация «Железобетон», Национальные группы основных профильных международных организаций – Международного союза по испытаниям строительных материалов, систем и конструкций RILEM и Международной федерации по железобетону – *fib*, ряд профильных научно-технических журналов.



Конференцию открыл ректор КГАСУ, д-р техн. наук, профессор Р.К. Низамов. С приветственным словом выступил заместитель министра строительства, архитектуры и ЖКХ Республики Татарстан В.Н. Кудряшев, который подчеркнул важность тематики конференции для развития строительного комплекса республики, поблагодарил организаторов и участников за внимание к проблемам отрасли, тесное взаимодействие КГАСУ со строительными организациями, проектными институтами, предприятиями-производителями строительных материалов.

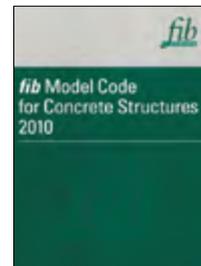
С докладом на тему «Стратегия инновационного развития бетонного строительства в Республике Татарстан», подготовленным совместно с помощником Президента Республики Татарстан Ф.М. Ханифовым, выступил зав. кафедрой ТСМиК, д-р техн. наук, В.Г. Хозин.

В работе конференции приняли участие около 140 человек – руководители, ученые и специалисты научно-исследовательских и учебных институтов (из них 22 – доктора технических наук), руководители и инженерно-технические работники предприятий строительной индустрии и строительного-монтажных организаций, представители фирм, производящих функциональные добавки. Неожиданное и чрезвычайно позитивное отличие данной конференции от многих вузовских мероприятий – высокий интерес производителей. Более половины участников конференции представляли предприятия Татарстана и других регионов России. Следует отметить, что география участников также была весьма широкой – Владивосток, Якутск, Иркутск, Улан-Уде, Оренбург, Саратов, Пенза, Тверь, Москва, Санкт-Петербург, Воронеж и др.). Присутствовали также ученые из Испании, Литвы, Чехии и Армении.

На конференции было заслушано пять пленарных докладов, которые подготовили по заказу оргкомитета известные ученые – специалисты в области высокопрочных бетонов.

Конечно, все участники конференции с нетерпением ждали доклад вице-президента Международной федерации по конструкционному бетону Х.-Э. Корреса Пейретти (Hugo Eduardo Corres Peiretti), который представил концептуальный доклад «Модельный кодекс 2020: новый проект *fib* для будущего». После представления Международной федерации по конструкционному бетону (*fib*), ее структуры и основных задач, докладчик подробно разъяснил суть модельного кодекса, над которым лучшие специалисты мира работают уже более 40 лет, постоянно его развивая и совершенствуя. Модельные кодексы (MC) являются методическими и справочными документами для создания национальных систем нормирования. В настоящее время действует Модельный кодекс 2010 г. и ведется интенсивная работа по созданию новой редакции, которая должна быть утверждена к 2020 г. В ней будут учтены новейшие исследования в области конструкционного бетона и практический опыт, накопленный за последние годы. Докладчик также особо подчеркнул роль высокопрочных бетонов в современном строительстве и то значение, которое придается учету их свойств и рациональным областям применения при разработке новых норм проектирования железобетонных конструкций по полному жизненному циклу в Модельном кодексе MC 2020.

«Высокопрочные бетоны в эпоху устойчивого развития» – так назвал свой доклад зав. сектором НИЦ «Строительство» (НИИЖБ), профессор МГСУ, руководитель национальной группы Международной федерации конструкционного бетона (*fib*), канд. хим. наук В.Р. Фаликман. Он напомнил слушателям в общем-то известные факты о колоссальном негативном влиянии деятельности человека на природу, которое в скором времени, по расчетам ученых-экологов, может привести к необратимым изменениям не только климата, но всей биосферы земли. Концепция устойчивого развития приобретает все большую популярность в мире. В 1996 г. Российская Федерация также приняла устойчивое развитие в качестве стратегического направления развития (Приложение к Указу Президента РФ от 1 апреля 1996 г. № 440 «О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию»).





Рост численности населения планеты обуславливает стремительный рост использования основного строительного материала – бетона, мировое потребление которого в настоящее время составляет более 21 млрд т в год. Как основной потребитель цемента бетонная промышленность несет солидарную «ответственность» с цементной за 5% мировых выбросов CO<sub>2</sub> (более 2,1 Гт в год). Поэтому перед учеными и производителями стоит задача разработки и реализации новой цементной и бетонной стратегии, которая бы позволила не только существенно сократить выбросы CO<sub>2</sub>, и промышленное потребление пресной воды, но и вернуть в полезный оборот многотоннажные отходы других отраслей промышленности и энергетики.

Теоретические основы повышения прочности бетона при сокращении количества цемента в смеси разрабатывались многими учеными. Известно, что экономии цемента можно достичь управлением его минералогическим составом путем введения различных минеральных добавок, регулированием свойств смеси за счет модифицирующих добавок (доклад С.С. Каприелова, д-ра техн. наук, зав. Лабораторией НИИЖБ).

Эволюции бетонов и технико-экономической эффективности порошково-активированных бетонов нового поколения был посвящен доклад зав. кафедрой ТСМиД Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, д-р техн. наук В.И. Калашникова.

Как развивалась теория прочности бетона рассказал зав. кафедрой строительного Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва В.П. Селяев (читайте статью в этом номере журнала, стр. 70–79).

Более 40 докладов участников конференции освещали широкий круг вопросов, касающихся структуры, свойств, технологии высокопрочных бетонов. Следует отметить, что заседания проходили при неизменно переполненном зале. Доклады оживленно обсуждались, причем активными участниками дискуссий были специалисты производственных предприятий.

В рамках конференции состоялся конкурс молодых ученых и специалистов, победители и участники которого были награждены дипломами и грамотами (1 место – Р.Р. Богданов, аспирант КГАСУ, кафедра ТОМС; 2 место – А.Р. Гиздатуллин, аспирант КГАСУ, кафедра ТСМИК, 3 место – А.С. Иноземцев, мл. научн. сотр. МГСУ и С.И. Пименов, аспирант КГАСУ, кафедра ТОМС).

По итогам работы участники конференции приняли решение, в котором отмечено, что в России и за рубежом накоплен значительный опыт и достигнут положительный результат внедрения в практику строительства высокопрочных бетонов, реализованы многие уникальные проекты. Только в Российской Федерации за последние 10 лет было применено более 2 млн м<sup>3</sup> бетонов классов выше В60, однако это небольшая часть в общем объеме бетона, используемого для жилищного и промышленно-гражданского строительства и создания объектов инфраструктуры.

Проблемы применения высокопрочных бетонов и конструкций из них являются важной составляющей научно-технической политики развития строительства и должны быть учтены при реализации ряда крупных федеральных программ, в том числе в Стратегии инновационного развития строительной отрасли РФ на период до 2030 г. и Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 г. и дальнейшую перспективу до 2030 г., а также ряде крупных региональных программ.

Рассмотренные на конференции научные направления и выявленные проблемы могут служить ориентирами как для научно-педагогической сферы вузов при формировании диссертационной тематики и программ подготовки инженерных кадров, так и в сфере дополнительного образования и выпуска учебной литературы. Для строительного бизнес-сообщества проблемы высокопрочных бетонов должны стать приоритетными при инвестировании в развитие строительной индустрии.

Следующую конференцию «Высокопрочные цементные бетоны» было решено провести в 2019 г. вновь на базе Казанского государственного архитектурно-строительного университета.



В.П. СЕЛЯЕВ, д-р техн. наук, Академик РААСН, П.В. СЕЛЯЕВ, канд. техн. наук (selyaevpv@gmail.com),  
Е.Л. КЕЧУТКИНА, инженер

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

## Эволюция теории прочности бетонов. От простого к сложному

Предложена модель структуры цементных композитов, основанная на принципах фрактальной геометрии, согласно которой сложные системы природы состоят из частей (фракталов), подобных целому на каждом масштабном уровне. Показано, что классические теории прочности не отражают реальную картину сопротивления разрушению фрактальных структур. Экспериментально и теоретически доказано: разрушение цементных композитов – это многоуровневый, многостадийный процесс; при действии сжимающих нагрузок структура бетонов может разрушаться как путем отрыва, так и путем среза; фрактальная модель более точно описывает соотношение между прочностью при сжатии и растяжении, масштабный эффект, зависимость прочности при сжатии от коэффициента трения. Диаграммы деформирования, полученные с применением программного комплекса Welle Geotechnik, подтвердили дискретно-непрерывный характер разрушения цементных композитов при сжатии.

**Ключевые слова:** бетоны, фрактал, масштабный уровень, композит, разрушение, квантовый характер.

V.P. SELYAEV, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS, P.V. SELYAEV, Candidate of Sciences (Engineering) (selyaevpv@gmail.com),  
E.L. KECHUTKINA, Engineer  
National Research N.P. Ogarev Mordovia State University (68, Bolshevistskaya Street, Saransk, 430005, Republic of Mordovia, Russian Federation)

### Evolution of the Theory of Concrete Strength. From Simple to Complex

A model of the structure of cement composites based on the principles of the fractal geometry according to which the complex systems of nature consist of parts (fractals), which at each scale level is like the whole, is proposed. It is shown that the classical theory of strength does not reflect the real picture of the resistance of fractal structures to destruction. It is experimentally and theoretically proved that the destruction of cement composites is a multi-level, multi-stage process; under the action of compressive loads, the concrete structure can be destroyed both by cleavage and by cutting; a fractal model more exactly describes the relation between compression and tension, scale effect, dependence of compression strength on the friction coefficient. Deformation diagrams obtained with the use of the software complex "Welle Geotechnik" confirm the discrete-continuous character of the destruction of cement composites under compression.

**Keywords:** concretes, fractal, scale level, composite, destruction, quantum nature.

Прочность – это основной показатель качества материала, характеризующий его возможности сопротивляться силовым воздействиям. Теоретическая прочность определяется силами внутреннего сцепления. Однако на практике она значительно ниже и зависит от технологии изготовления, скорости нагружения, температуры, состава окружающей газовой среды, формы и размеров образцов, механизма разрушения. Поэтому всегда актуальной является задача ее повышения.

Современные тенденции, направленные на создание и применение высокопрочных бетонов, начали формироваться в первой половине XX в. в «империи небоскребов» США.

В СССР также в 1950-е – 1960-е гг. разрабатывались технологии производства высокопрочных бетонов. Результаты исследований были обобщены и опубликованы в работах И.Н. Ахвердова, О.Я. Берга, Г.Н. Писанко, В.И. Сытник, С.В. Шестоперова [1–3]. Предложено [3] к высокопрочным относить бетоны с марочной прочностью 700 кг/см<sup>2</sup> и выше. Экспериментальными исследованиями было показано, что можно изготавливать бетоны с пределом прочности 600–1200 кг/см<sup>2</sup> на обычно применяемых материалах [3]. На высокопрочном щебне были получены бетоны (1966 г.) с прочностью 1400 кг/см<sup>2</sup>. Для достижения высокой прочности бетонные смеси готовились с наибольшей возможной жесткостью, применяя для уплотнения двух- частотные вибраторы, вибропрессование, вибровакуумштампование, ударные, взрывные воздействия. Предлагаемые технологии основывались на реализации традиционных принципов: максимальная плотность и однородность, минимальная пористость и дефектность структуры.

Революционные преобразования в технологии высокопрочных бетонов намечались при внедрении химических, механохимических методов активации бетонных

смесей. В технологию производства цементных бетонов были привнесены принципы и методы, разработанные при создании полимерцементных, полимерных бетонов. Работами В.И. Соломатова, О.В. Кунцевича, А.В. Саталкина экспериментально было установлено, что введением в цементную композицию полимерных модификаторов можно не только увеличить подвижность смеси, снизить водоцементное отношение, но и в 2–3 раза повысить прочность бетона [4–6]. Произошла переоценка роли и ответственности наполнителей, влияния поровой структуры на прочность цементных композитов [4, 7, 8]. Экспериментально было установлено, что частицы наполнителя, поры в структуре композита могут выполнять функции: демпферов, гасящих энергию разрушения; точек бифуркации, изменяющих направление развития трещины разрушения, увеличивающих путь (поверхность) разрушения, а следовательно, повышающих нагрузку разрушения, прочность бетона [7, 8].

Использование высокопрочных бетонов, созданных по новым принципам, требует более ответственного подхода при проектировании, применения более обоснованных представлений о механизме разрушения.

Ранее считалось, что каждый материал может обладать только одним каким-либо видом сопротивления разрушению. Например, разрушение бетона, по мнению многих известных исследователей А.А. Гвоздева, О.Я. Берга, В.И. Мурашева, происходит вследствие разрыва бетона как при растяжении, так и при сжатии.

А.А. Гвоздев пришел к выводу, что прочность бетона в значительной мере зависит от вторичного поля напряжений и определяется сопротивлением растяжению (отрыву) по площадкам, параллельным направлению сжимающих сил.

О.Я. Берг также придерживается теории отрыва при разрушении бетона сжимающей нагрузкой. Он устано-

вил, что наблюдаемое при одноосном сжатии увеличение объема образца происходит в результате накопления микротрещин, параллельных направлению действия сжимающих сил [3].

В.И. Мурашев утверждает, что к бетону неприменимы классические теории прочности, предложенные для других материалов, — теории максимального нормального напряжения, максимальной деформации, максимального касательного напряжения [9].

По мнению В.И. Мурашева, установление общей теоретической зависимости между свойствами прочности и деформативности бетона и его составом и структурой представляет собой нерешенную задачу. Поэтому оценка прочности и деформативности бетона основана на эксперименте, по средним, нормативным и расчетным значениям, полученным с заданной надежностью [9].

Мнение ученых о механизме разрушения бетона единогласно, и развитие процесса разрушения объясняют появлением новых и развитием имеющихся микротрещин [1, 3, 7–9].

В классических теориях условие разрушения описывается аналитически в виде зависимости:

$$f(\sigma, \varepsilon) \leq C \quad (i = 1, 2, 3), \quad (1)$$

где  $\sigma_i, \varepsilon_i$  — критические значения напряжений, деформаций, описывающие состояние элементарного объема;  $f(\sigma, \varepsilon)$  — функция главных напряжений или деформаций, при равенстве которой величине  $C$  происходит локальное разрушение. Разрушается структурный элемент, но не весь образец. Кроме того, первая теория прочности (Галилей, Ламе, Рэнкин) —  $\sigma_{max} \leq \sigma_1 \leq R_{bt}$ ;  $\sigma_1 \leq \sigma_2 \leq \sigma_3$  не учитывает влияния на прочность двух других главных напряжений; вторая теория прочности (Мариотт, Навье, Панселе, Сен-Венан) дает возможность получить соотношение  $R_b/R_{bt}$ , записав неравенство  $\varepsilon_{max} \leq \varepsilon_1 \leq \varepsilon_{bt}$ ;  $\varepsilon_1 \leq \varepsilon_2 \leq \varepsilon_3$  через напряжения, получаем  $R_b/R_{bt} = 1/\mu$ , что не соответствует опытным данным; третья теория прочности (Кулон, Треска, Гест)  $\tau_{max} \leq \tau_{bt}$  не учитывает влияния нормальных напряжений и дает решение  $R_{bt} = 0,5R_{bt}$ . На практике прочность бетона на сдвиг в два раза больше прочности бетона при растяжении, т. е.  $R_{bt} \geq 2R_{bt}$ .

В последние годы экспериментально и теоретически доказано, что каждый материал, в том числе и бетон, в зависимости от того, в какие условия он будет поставлен, может разрушаться как путем отрыва, так и путем среза. Предположение об одновременном существовании у бетона двух видов сопротивления разрушению дает возможность объяснить целый ряд аномальных зависимостей, характерных для цементных композитов. Прежде всего бетон относится к материалам, у которых сопротивление сжатию выше сопротивления растяжению. Прочность бетона при срезе  $R_{bt}$  в два раза больше прочности при растяжении  $R_{bt} = 2R_{bt}$ , что не соответствует выводам классических теорий прочности, согласно которым  $R_{bt} = 0,5R_{bt}$ . Прочность бетона зависит от размеров дефектов и образца (масштабный эффект).

Многочисленными экспериментальными исследованиями было установлено: не всегда главным критерием разрушения является предельное напряжение или предельная деформация. Опыты показывают, что на разрушение материала будет влиять не только касательное, но и действующее по той же площадке нормальное напряжение.

Это обстоятельство было учтено при создании универсальной теории прочности Мором (1900 г.), который предположил, что разрушение происходит тогда, когда на некоторой площадке с нормалью  $n$  величина касательного напряжения достигает критического значения, зависящего от действующего на этой площадке нормального напряжения.

По теории Мора разрушение не происходит, если соблюдается условие:

$$\max [\tau_n - f(\sigma_n)] < 0. \quad (2)$$

Элемент материала при росте  $\tau_n$  начнет разрушаться при наиболее неблагоприятном сочетании нормальных и касательных напряжений.

Условие прочности можно записать в виде неравенства, которое известно как условие Кулона–Навье:

$$\tau_n \leq \tau_{bt} + f\sigma, \quad (3)$$

где  $\tau_n$  — касательное напряжение на площадке  $n$ ;  $\tau_{bt}$  — сопротивление сдвигу;  $\sigma$  — нормальное напряжение на площадке  $n$ ;  $f$  — коэффициент трения.

Можно доказать, что по теории Мора для бетона:

$$f = \frac{\sigma_b - \sigma_{bt}}{2\sqrt{\sigma_{bt}\sigma_b}} > 1, \quad (4)$$

что не соответствует экспериментальным данным.

Приведенный краткий анализ показал, что классические теории прочности не отражают особенности проявления прочностных и деформативных свойств бетона. Необходимы новые подходы, которые должны отражать наличие теоретических зависимостей между свойствами прочности и деформативности бетона и его структурой.

Попытки установить зависимости между прочностными свойствами и структурой предпринимались многими учеными: Н.А. Житкевичем (1912 г.), А.Ф. Лолейтом (1925 г.), К.В. Сахновским (1927 г.), И.А. Рыбьевым, Ю.М. Баженовым, А.Г. Комаром, С.В. Шестоперовым, И.М. Грушко.

Наиболее характерная экспериментальная зависимость прочности бетона от структурных составляющих предложена А.Е. Шейкиным в виде функции [10]:

$$R_b = \frac{R_1}{1 - \frac{(E_2\mu_1/E_1 - \mu_2)}{q_1/q_2 + E_2/E_1}(1-\theta)}; \quad (5)$$

где  $R_1, \mu_1, E_1$  — прочность, модули Пуассона и Юнга матрицы;  $\mu_2, E_2$  — модули Пуассона, Юнга заполнителя;  $\theta$  — относительная длина зоны нарушенного сцепления матрицы и заполнителя;  $q_1, q_2$  — относительное объемное содержание матрицы и заполнителя.

И.А. Рыбьевым предложена формула для определения прочности бетона с учетом теории Гриффитса в виде функции [11]:

$$R_{b\text{opt}} = \frac{\sqrt{2\gamma E_b l}}{(\delta/\delta_0)^m (r/r_0)^n} = \frac{k_1 \sqrt{l}}{(\delta/\delta_0)^m (r/r_0)^n}, \quad (6)$$

где  $\sqrt{2\gamma E_b l}$  — прочность бетона при длине трещины  $2l$ , модуле Юнга  $E_b$  и удельной плотности поверхностной энергии  $\gamma$ ;  $\delta/\delta_0$  — толщина пленок между частицами;  $r/r_0$  — расстояние между частицами;  $r_0, \delta_0$  — для оптимальных структур.

Толщину пленок  $\delta$  можно определить по формуле:

$$\delta = d \left( 0,806 \sqrt[3]{\frac{1}{q_2}} - 1 \right), \quad (7)$$

где  $d$  — диаметр зерна заполнителя.

Предложенные функции прочности (5) и (6) дают качественную оценку влияния структурных параметров на прочность композита. Основное влияние на прочность бетона оказывают дефекты структуры. Так, если в формуле (5) принять  $\theta=1$  (нет сцепления), то  $R_b=R_1$ , если обеспечено надежное сцепление между матрицей и заполнителем, то проявляется влияние заполнителя на прочность композита (рис. 1).

Очевидно, следуя формулам (5), (6) и (7), основными структурными параметрами являются:  $d, r, \delta, l, \theta, q_1, q_2$ .

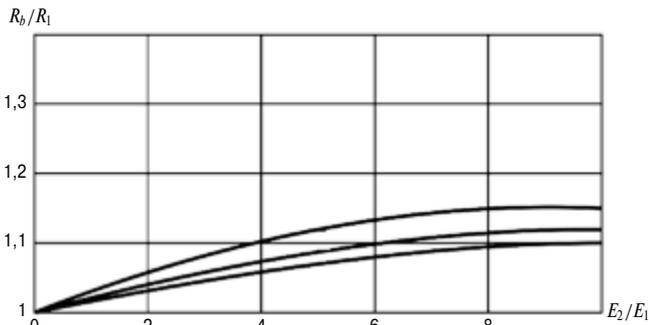


Рис. 1. Зависимость относительной прочности бетона от соотношения модулей упругости матрицы  $E_1$  и заполнителя  $E_2$  от относительного объемного содержания матрицы  $q_1$  и заполнителя  $q_2(1-q_1/q_2=1; 2-q_1/q_2=3; 3-q_1/q_2=5)$

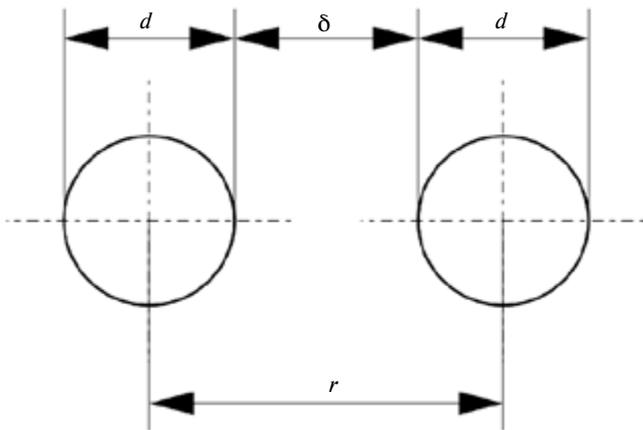


Рис. 2. Структурные параметры:  $d$  – диаметр частиц;  $\delta$  – расстояние между частицами

Учитывая, что  $r = d + \delta$ ;  $q_1 + q_2 = 1$ ;  $0 \leq \theta \leq 1$ ;  $l = \theta d$  (рис. 2), остаются три независимых параметра:  $d_i$ ,  $\theta_i$ ,  $q_{2i}$ . Однако они не являются константами. Современные бетоны – это сложные иерархически организованные масштабнo-инвариантные системы, которые на каждом масштабном уровне могут быть представлены двумя компонентами – матрицей и наполнителем и структурными параметрами  $d_i$ ,  $l_i$ ,  $q_{2i}$  (рис. 2).

Следовательно, каждый масштабный уровень ( $i$ ) будет иметь свои структурные параметры, которые образуют множество характеристик сложной системы.

Мандельброт Б.Б. обосновал принципы фрактального строения природных систем, которые дают возможность описать сложные системы природы «языком разума» [12]. Он предложил считать структуру фрактальной, если она состоит из частей, которые на каждом масштабном уровне подобны целому. О наличии самоподобия структурных уровней композитов отмечалось в работах В.И. Соломатова, М.А. Садовского, С.М. Скоробогатова, Ю.В. Зайцева, Е.М. Чернышева, В.П. Селяева [13–17]. Количественной характеристикой внутреннего порядка (самоподобия) сложных природных систем, структур является фрактальная размерность. Работами Л.М. Ошкиной, Л.И. Куприяшкиной, Т.А. Низинной экспериментально доказано, что фрактальная размерность является объективной, воспроизводимой характеристикой, подтверждающей фрактальность строения структуры, наличия самоподобия на различных масштабных уровнях [18–20]. О сложности структурной системы можно судить по распределению микротвердости в пределах площади поперечного сечения образцов (рис. 3); не менее сложным является распределение пор по размерам в объеме изделия.

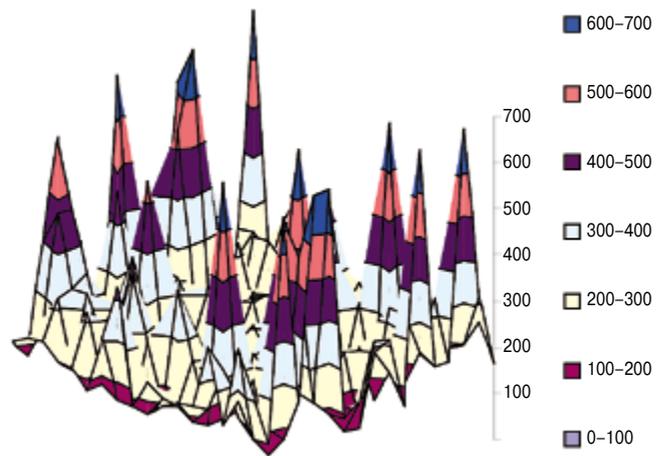


Рис. 3. Распределение микротвердости по поверхности наполненных диатомитом цементных композитов (скорость перемешивания – 360 об/мин, время перемешивания – 40 с)



Рис. 4. Зависимость между фрактальной размерностью и прочностью при сжатии [11]

Таблица 1  
Фрактальная размерность наполненного цементно-песчаного раствора

Степень наполнения, %	Соотношение цемент/песок		
	1:2	1:3	1:4
10	1,418	1,43	1,445
20	1,38	1,415	1,428
30	1,42	1,433	1,435

Результаты определения фрактальной размерности, полученные методами: наименьшего размаха (Херста); вертикальных сечений; островов; Фурье – анализа профилей, приведены в табл. 1, 2 и на рис. 4 [20].

Фрактальность строения структуры ЦК подтверждает масштабное подобие структуры и необходимость выделения при анализе строения структуры материала различных уровней. Специалистами-бетоноведами принято анализ структуры производить на двух, трех, пяти уровнях, условно выделив макро-, мезо-, ультра-, микро-, наноструктуры.

Авторами предлагается: масштабные уровни структуры бетона коррелировать (подобно С.С. Вялову) с размерами соответствующих дефектов и рассматривать санти-, милли-, микро-, наноструктурные уровни (предложенная классификация приведена в табл. 3); при анализе влияния структуры композита на его свойства применять принцип, предложенный В.И. Соломатовым, – рассматривать структуру в структуре, компо-

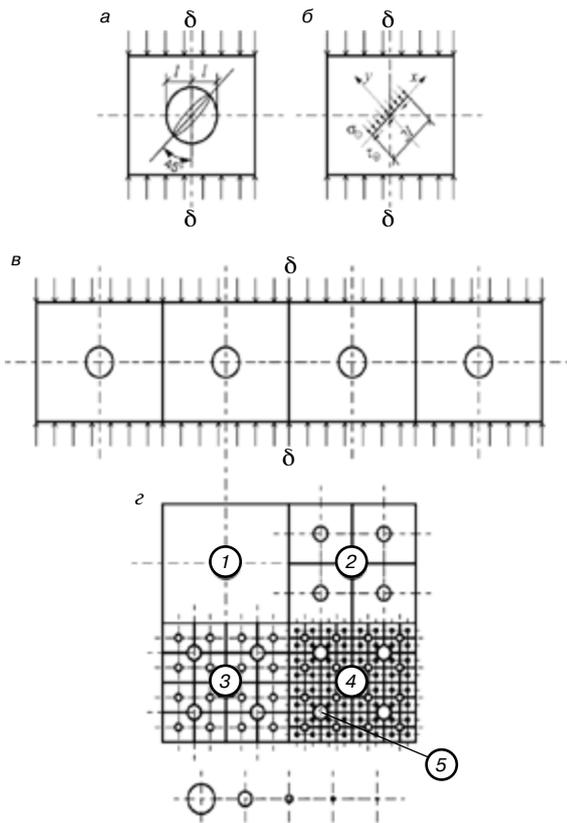


Рис. 5. Фрактальная модель структуры бетона: а – первичный фрактал; б – расчетная модель фрактала; в – цепочный фрактал; г – плоский фрактал; 1, 2, 3, 4, 5 – уровни структуры

Таблица 2  
Значения фрактальной размерности поровой структуры цементных композитов

Состав	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество цеолита ( $x_1$ )	20%	10%	10%	13%	17%	10%	10%	17%	13%	13%
Песок/цемент ( $x_2$ )	1/1	4/1	1/1	3/1	2/1	2/1	3/1	1/1	1/1	2/1
В/Ц ( $x_3$ )	0,6	0,6	0,9	0,6	0,6	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7
D (увеличение $\times 10$ )	2,03	2,55	2,16	2,2	2,42	2,22	2,2	2,07	2,03	2,13
D (увеличение $\times 25$ )	2,03	2,47	2,24	2,19	2,4	2,2	2,2	2,05	2,02	2,11

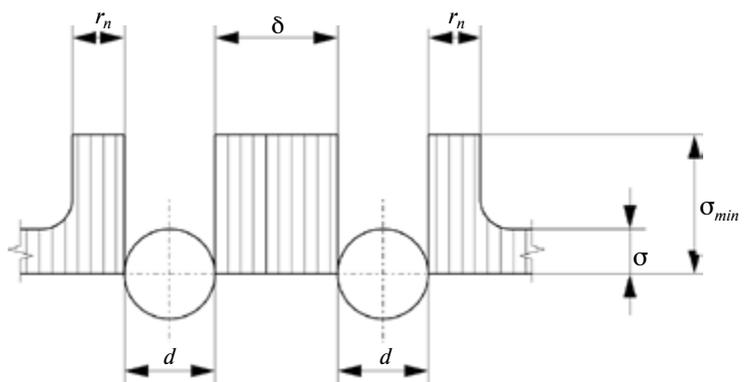


Рис. 6. Эпюра напряжений

Классификация и основные параметры масштабных уровней

Масштабные уровни структуры	Единицы измерения, м	Размер дефектов		Объемное содержание, отн. ед., $q_{ji}$				
		Заполнители	Поры	Цемент	Поры	Наполнитель $M_{кр}$	Песок	Щебень
Санти-(бетон)	$10^{-2}$	0,5–5 см	0,5 см	0,13	0,2	0,025	0,25	0,42
Милли- (цементно-песчаный раствор)	$10^{-3}$	0,5–5 мм	0,1 мм	0,19	0,095	0,025	0,69	–
Микро-(мастика)	$10^{-6}$	5–500 мкм	1–100 мкм	0,6	0,3	0,1	–	–
Нано-(цементный камень)	$10^{-9}$	2–200 нм	0,6–100 нм	0,85–0,7	0,15–0,3	–	–	–

зит в композите, предполагая композит состоящим на каждом уровне из матрицы и наполнителя.

Например, бетон с крупным заполнителем имеет все четыре масштабных уровня структуры, которую на сантиметровом уровне можно представить в обобщенном виде, состоящей из матрицы (раствор – масштабные уровни 2, 3, 4) и заполнителя с размером зерен 0,5–5 см.

С учетом проведенного анализа для объяснения и подтверждения аномальных эффектов проявления прочности бетона предлагается применять фрактальную модель структуры цементного композита, которая формируется исходя из следующих принципов:

1. Цементные композиты состоят из масштабно-инвариантных структурных элементов конечного размера (фракталов), которые по физическим и химическим свойствам, соотношению фаз подобны целому.

2. Структура цементного композита является иерархически организованной системой, построенной по принципу структура в структуре, блок в блоке, и на каждом масштабном уровне может быть представлена двумя обобщенными компонентами – матрицей и наполнителем.

3. Каждый элементарный акт разрушения, соответствующий разрушению одного фрактала, может быть

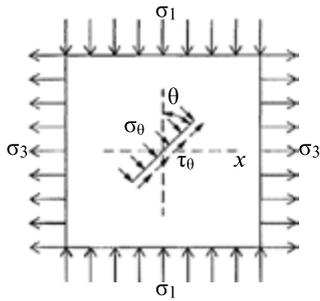
описан на основе классической теории разрушения, применяемой в предельных случаях.

4. Структурная система цементного композита, состоящая из множества элементов (фракталов), характеризуется флуктуацией физических параметров, что является причиной развития метастабильных состояний, увеличением во времени количества отказавших фракталов и разрушением системы при накоплении разрушенных элементов выше предельно допустимого уровня.

Фрактальные модели представлены подобными на четырех масштабных уровнях структурными элементами. Условия подобия отражают подобие основных структурных параметров ( $q_{1i} + q_{2i} = 1$ ;  $q_{ji} = idem$ ;  $E_{2i}/E_{1i} = idem$ ).

Структурный элемент на каждом ( $i$ -м) масштабном уровне будем представлять в виде квадрата (рис. 5) с размерами ребра  $\alpha_i = d_i + \delta_i$ , внутри которого находится заполнитель в форме идеального диска диаметром  $d_i$ . Расстояние между зернами заполнителя равно  $\delta_i$  и определяется по формуле (7).

На границе с дефектом в матрице под влиянием концентрации напряжений (рис. 6) формируется область пластического деформирования, размеры которой  $r_n$  Д. Броеком [21] предложено определять по формуле вида:



Хук–Бенявский (Кулон–Навье)  
 $\tau_\theta = S_0 + \gamma\sigma_\theta$   
 $\sigma_\theta = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\theta$   
 $\tau_\theta = 0,5(\sigma_1 - \sigma_3)\sin 2\theta$   
 Брейс–Марелл  
 $S_{0min} = 2T_0(1 + \sigma_0/T_0)^{1/2} - 2\gamma\sigma_0$   
 где  $T_0 = R_{bt}$

Рис. 7. Расчетная модель фрактального элемента композита с трещиной (Е. Хук, З.Т. Бенявский, В.Ф. Брейс, С. Марелл)

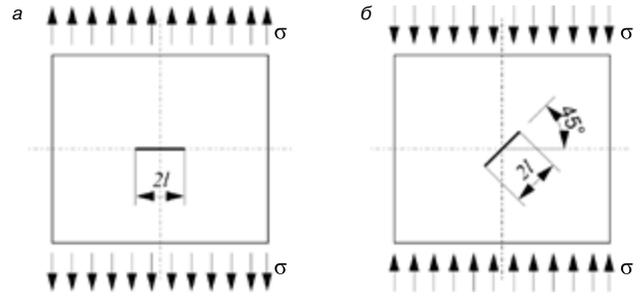


Рис. 8. Расчетная модель фрактального элемента: а – горизонтальная трещина; б – трещина под углом 45°

Таблица 4  
Расстояние между дефектами

Показатели структуры	Компоненты					
	Цемент	Поры	МК	Песок	Щебень	Σ
$\gamma_0$ , кг/м <sup>3</sup>	3000	–	2000	2600	2800	–
$m$ , кг на 1 м <sup>3</sup>	500	–	50	950	1000	2500
$\gamma_{fb}$ , м <sup>3</sup>	0,167	0,086	0,025	0,365	0,357	1 м <sup>3</sup>
$d_i$ , см	–	0,005	0,005	0,5	5	–
$\delta_i$ , см	–	0,004	0,0087	0,064	0,68	–
$\sigma_{min}$	–	0,16	0,22	0,62	2,05	–

Таблица 5  
Зависимость соотношения прочности  $R_b/R_{bt}$  от коэффициента трения

Соотношение $R_b/R_{bt}$	Коэффициент трения, $\gamma$						
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1
Хук–Бенявский $\frac{R_b}{R_{bt}} = \frac{\sqrt{1+\gamma^2}+\gamma}{\sqrt{1+\gamma^2}-\gamma}$	1	1,48	2,19	3,14	4,3	5,09	6
Брейс–Марелл $\frac{R_b}{R_{bt}} = \frac{4}{\sqrt{1+\gamma^2}-\gamma}$	4	4,88	5,97	7,14	8,3	9,09	10
Формула (15) $k = 1,35$ $\frac{R_b}{R_{bt}} = \frac{5,4}{1-\gamma}$	5,4	6,75	9	13,5	27	54	∞

$$r_{n1} = \frac{k_1^2}{2\pi R_{bt}^2}, \quad (8)$$

где  $k_1$  – коэффициент интенсивности напряжений при растяжении.

Тогда, записав условие разрушения структуры в виде неравенства (9), можно судить об иерархической последовательности разрушения структуры композита:

$$\delta_i \leq 2r_{ni}, \quad \delta_{min} \geq \delta_n \sqrt{\delta_i} = R_{bt} \sqrt{\delta_i}. \quad (9)$$

В табл. 4 приведен состав композита и определенные по формуле (7) численные оценки расстояния  $\delta_i$  между дефектами  $\sigma_{min}$  на различных масштабных уровнях.

Анализ результатов, приведенных в табл. 4, показывает, что разрушение структуры начинается с микроуровня. По мере увеличения напряжения начинают разрушаться структуры более высокого уровня. Рост напряжений в элементах структуры может происходить при росте нагрузки или при отказе (разрушении) фракталов. Разрушение фракталов реализуется при выполнении условия (9), имеет квантовый характер [22, 23]; следуя В.В. Новожилову, параметр  $\delta_i$  будем называть квантом разрушения. Механизм разрушения микрообъема с параметром  $\delta$  можно описать с позиций кинетической концепции прочности.

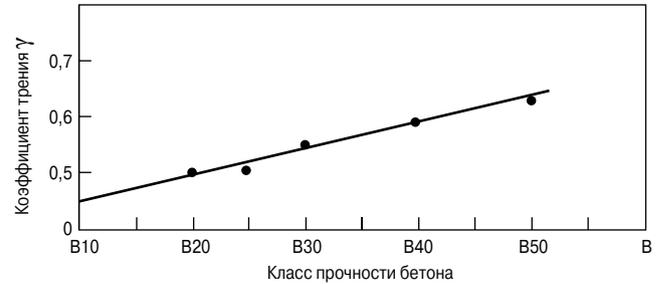


Рис. 9. Зависимость коэффициента трения от класса бетона на осевое сжатие

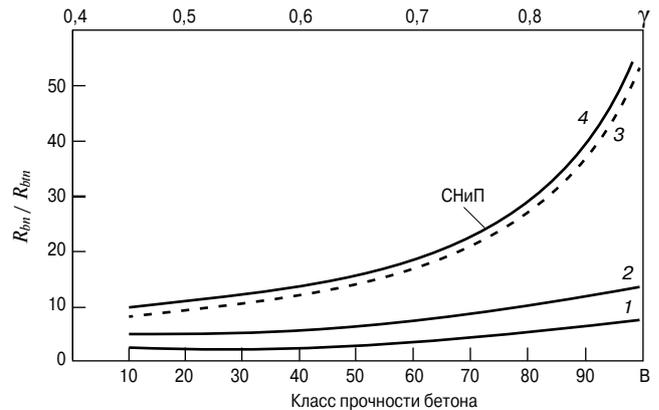


Рис. 10. Зависимость соотношения  $R_b/R_{bt}$  от класса бетона на осевое сжатие и коэффициента трения  $\gamma$ : 1, 2, 3 – по табл. 3; 4 – по 2.03.01–84\*

Учитывая квантовый характер разрушения фрактальных структур, предлагаем рассматривать два сценария развития процесса разрушения цементных композитов (бетонов).

В первом случае разрушение – процесс формирования и развития магистральной трещины разрушения. Под нагрузкой развивается процесс разрыхления, разупрочнения структуры. Мелкие дефекты, поры, трещинки объединяются, сливаются и образуют трещину, которая начинает развиваться, если разупрочнение достигло критического уровня.

Во втором случае в материале в процессе технологии изготовления формируется «спящая» трещина, которая начинает стремительно развиваться, как только разупрочнение структуры достигнет критического уровня.

Предполагаем, что разрушение фрактала происходит при растяжении – отрывом, при сжатии – сдвигом. При этом длина трещины разрушения при растяжении и при сжатии будет одинакова  $l_0$ , но в первом случае она будет ориентирована под углом 90° к силовым линиям, а при сжатии – под углом 45°.

В.Ф. Брейс, С. Марелл, Е. Хук, З.Т. Бенявский [24, 25, 26] рассмотрели модели фракталов, у которых одна и та же трещина разрушения была критической и при сжатии, и при растяжении. Располагалась она под

углом 45° к направлению силовых линий. В результате были получены соответствующие решения:

$$\frac{R_b}{R_{bt}} = \frac{4}{\sqrt{1+\gamma^2-\gamma}}; \frac{R_b}{R_{bt}} = \frac{\sqrt{1+\gamma^2+\gamma}}{\sqrt{1+\gamma^2-\gamma}}. \quad (10)$$

Рассматривая модель, предложенную в работах авторов [27], в виде фракталов (рис. 8), у которых трещины разрушения размером  $2l$  расположены под углом 90 или 45°, получим следующие решения.

При растяжении фрактального элемента реализуется отрывной механизм разрушения, и тогда прочность материала структурного элемента будет равна:

$$R_{bt} = \frac{k_1}{\sqrt{\pi l_0}}. \quad (11)$$

При сжатии возможна реализация механизма разрушения бетона путем среза. В таком случае прочность материала можно определить из условия прочности Кулона – Навье, которое имеет вид:

$$\tau_0 \leq S_0 + \gamma \sigma_0. \quad (12)$$

Тогда прочность бетона при сжатии будет равна [9]:

$$R_b = \frac{4k_2}{\sqrt{\pi l_0(1-\gamma)}}, \quad (13)$$

где  $k_2$  – коэффициент интенсивности напряжений при сдвиге;  $\gamma$  – коэффициент трения.

Отношение пределов прочности при сжатии и растяжении для бетона будет равно:

$$\frac{R_b}{R_{bt}} = 4 \frac{k_2}{k_1} \frac{1}{(1-\gamma)}. \quad (14)$$

Установлено, что  $\frac{k_2}{k_1} = k = 1,3-1,4$  [6].

В формулах (11) и (13) длина трещины  $2l_0$  дается как расстояние, измеренное по прямой от начала до конца трещины.

Истинный размер площади поверхности, образованной при развитии трещины в композите с фрактальной структурой, будем аппроксимировать функцией вида:

$$S(\alpha) = S_0 \alpha^{d_i - D_i}, \quad (15)$$

где  $d_i$  – топологическая размерность;  $D_i$  – фрактальная размерность;  $\alpha$  – масштабный уровень измерения;  $S_0$  – площадь гладкой поверхности. Для гладкой прямой линии ( $i=1$ )  $d_i=1$ ; для гладкой поверхности  $d_i=2$ ;  $i=2$ .

Следуя Гриффитсу, с учетом фрактальности строения структуры композита уравнение баланса энергий высвобождаемой (энергия релаксации упругих связей) и расходуемой на образование новых поверхностей разрушения  $V$ , можно записать в виде:

$$W = V - U = S(\alpha)\nu - 0,5\sigma\epsilon A, \quad (16)$$

где  $\nu$  – удельная плотность поверхностной энергии;  $S(\alpha) = 4l\delta\alpha^{d_i - D_i}$ ;  $\delta$  – толщина пластины с трещиной

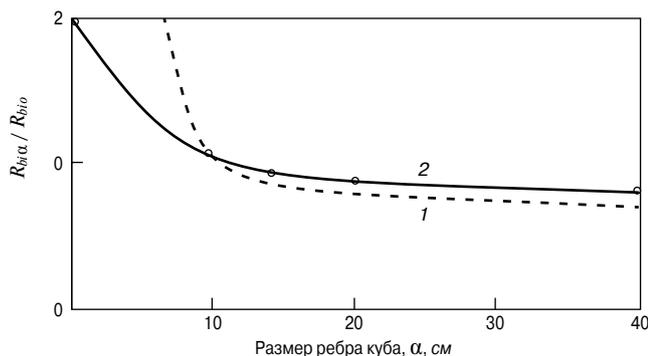


Рис. 11. Зависимость прочности от размера куба: по формуле (23) – 1; по формуле (24) – 2

( $\delta=1$ );  $A=\pi l^2$  – площадь релаксации;  $U=0,5\pi\sigma^2 l^2/E$ . Критическая (для заданных напряжений  $\sigma$ ) длина трещины  $2l_0$  будет соответствовать максимуму функции  $W$ , который находим из условия  $dW/dl=0$ :

$$l_0 = \frac{4\nu E}{\pi\sigma_0^2} \alpha^{d_i - D_i}; \sigma_\alpha = \sqrt{\frac{4\nu E}{\pi l_0}} \alpha^{d_i - D_i}; \sigma_\alpha = \sigma \alpha^{(d_i - D_i) \cdot 0,5}. \quad (17)$$

Если формулы (11) и (13) записать с учетом (17), то получим выражения для определения прочности композита на различных масштабных уровнях  $\alpha$  в следующем виде:

$$R_{bt\alpha} = \frac{k_1}{\sqrt{\pi l_0}} \alpha^{0,5(1-D)}; \quad (18)$$

$$R_{b\alpha} = \frac{4k_2}{\sqrt{\pi l_0(1-\gamma)}} \alpha^{0,5(1-D)}. \quad (19)$$

Для подтверждения достоверности полученных решений (14), (18), (19) проведем анализ экспериментальных данных, представленных в нормативной (СНиП 2.03.01–84\*) и научной литературе [28].

Экспериментально установлена зависимость коэффициента трения  $\gamma$  от класса бетона по прочности на сжатие  $B$  [28, 29], которую можно представить в виде линейной функции вида:

$$\gamma = 0,4 + 0,005B. \quad (20)$$

Формула получена по экспериментальным данным испытания бетонов классов В10–В50, и полученные результаты хорошо интерпретируются прямыми линиями (рис. 9).

Анализ экспериментальных данных показывает, что формула (14) более адекватно описывает зависимости прочности бетона от коэффициента трения, между прочностью при сжатии и растяжении. Известные решения Хука–Бенявского и Брейса–Марелла дают заниженные значения (рис. 10). В табл. 5 приведены данные о зависимости соотношения  $R_b/R_{bt}$  от коэффициента трения.

Формулы (14) и (20) дают возможность получить функцию, выражающую зависимость прочности при растяжении от прочности при сжатии в более простом (по сравнению с формулой Фере) и физически обоснованном виде:

$$R_{btm} = \frac{R_{bt}(0,6-0,005B)}{4k_2/k_1} = \frac{R_{bt}(0,6-0,005B)}{5,4}, \quad (21)$$

где  $1-\gamma=(0,6-0,005B)$ ;  $4 \cdot k_2/k_1=4 \cdot 1,35=5,4$ ;  $R_{btm}$ ,  $R_{bt}$  – нормативные сопротивления бетона (СНиП 2.03.01–84\*).

В литературе для оценки прочности бетона при растяжении рекомендовано применять формулу Фере, которая имеет вид:

$$R_{btm} = 0,233 \sqrt[3]{R^2}; R_{btm} = R_{btm}(1-1,64\vartheta), \quad (22)$$

где  $R$  – кубиковая прочность, следовательно,  $R=B$ ;  $\vartheta$  – коэффициент вариации, равный 0,135.

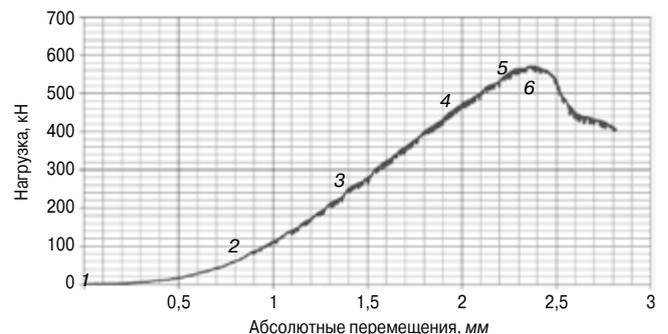


Рис. 12. Диаграмма зависимости нагрузки от перемещения (скорость нагружения 0,5 мм/мин, частота сбора данных 0,1 с)

Сравнение результатов, полученных по формулам (21) и (22), приведено в табл. 6. Первые строки (2, 3, 4) табл. 6 представляют данные по СНиП. Коэффициент  $\gamma$  (строка 4) определен по формуле (16). В пятой и шестой строках таблицы представлены расчетные значения  $R_{bn}/R_{bm}$  и  $R_{bm}$ , полученные по формулам (14) и (21), которые имеют хорошую сходимость с нормативными данными. В седьмой строке таблицы приведены данные вычислений по формуле Фере (22).

Формула авторов имеет лучшую сходимость расчетных значений  $R_{bm}$  с нормативными.

Особый интерес представляют формулы (18) и (19), из анализа которых следует, что прочность цементных композитов зависит от фрактальной размерности  $D$  и масштабного фактора  $\alpha$ . Зависимость предела прочности  $R_{bm}$  композитов от объема изделия исследована на вероятностных моделях в работах В.В. Болотина [30] и предложена формула вида:

$$R_{b\alpha} = R_{ba0} \left[ a + b \left( \frac{V_0}{V} \right)^{1/\beta} \right], \quad (23)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $\beta$  – эмпирические коэффициенты;  $V_0$  – некоторый стандартный объем;  $R_{ba0}$  – соответствующий ему предел прочности.

В работе [30] получены численные значения коэффициентов:  $a=0,58$ ,  $b=0,42$ ,  $\beta=3$ .

Исследования масштабного эффекта на фрактальных моделях приводят к функциям (18) и (19), согласно которым следует, что с увеличением фрактальной размерности и уменьшением масштаба измерений прочность увеличивается. Для высоконаполненных цементных композитов по экспериментальным данным [18] можно принять  $D=1,5$ .

С учетом, что  $D=1,5$ ;  $\alpha=15$  см, получим формулу (24), в которой:

$$\frac{R_{b1\alpha}}{R_{b10}} = \alpha_0 \cdot \alpha^{-0,25} = 1,97\alpha^{-0,25}, \quad (24)$$

где  $R_{b1\alpha}$  и  $R_{b10}$  – прочность кубика с размером ребра  $\alpha$  и 15 см;  $\alpha_0$  – коэффициент приведения к стандартному объему.

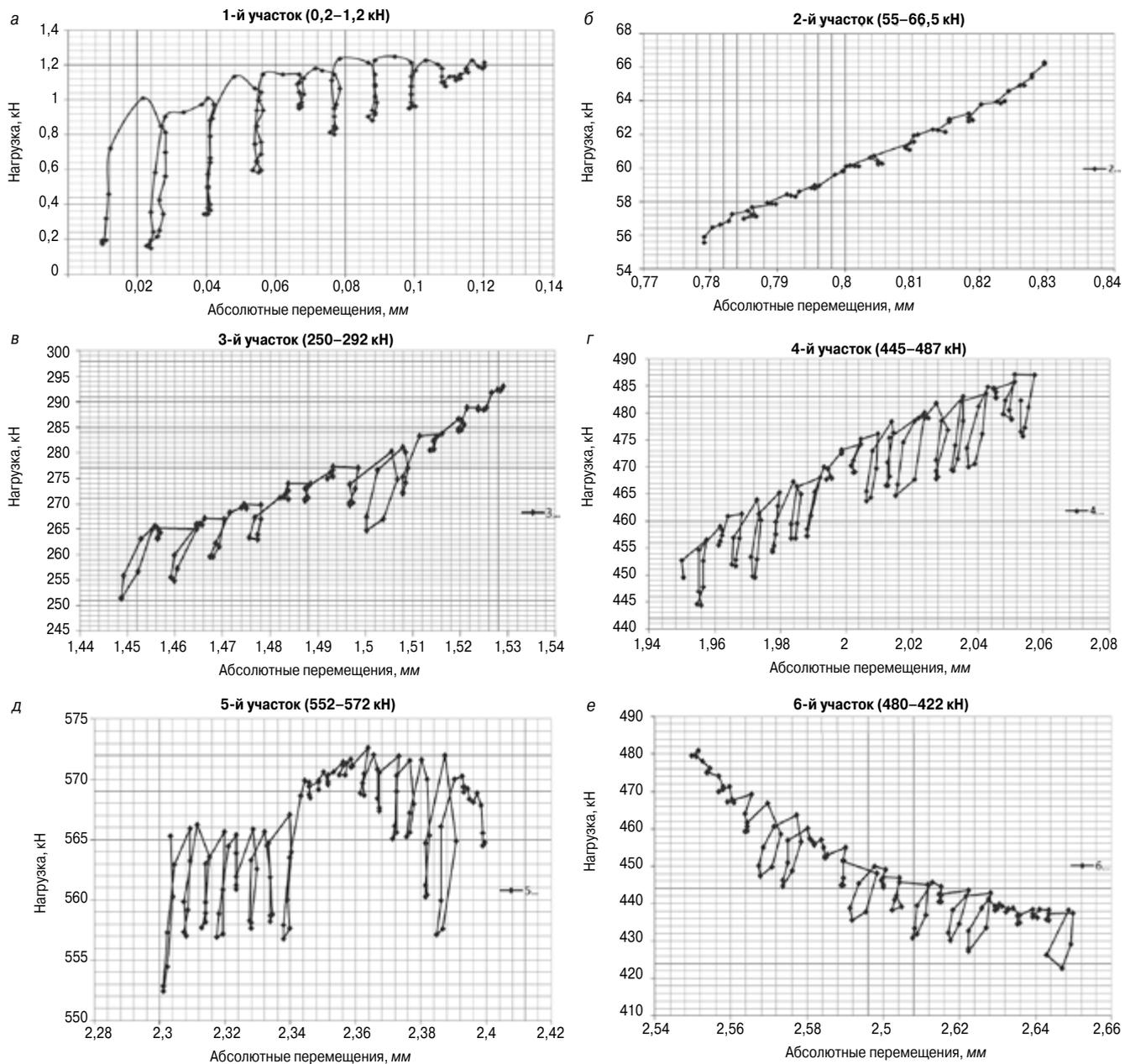


Рис. 13. Диаграммы деформирования на: а – участок 1; б – участок 2; в – участок 3; г – участок 4; д – участок 5; е – участок 6

Таблица 6  
Нормативные и рассчитанные по формулам авторов значения величин  $R_{bn}$  и  $R_{bn}/R_{bnt}$

Прочностные характеристики бетона	Класс бетона (СНиП 2.03-01-84*)				
	B10	B20	B30	B40	B50
$R_{bn}$ , МПа	7,5	15	22	29	36
$R_{bnt}$ , МПа	0,85	1,4	1,8	2,1	2,3
$R_{bn}/R_{bnt}$ (СНиП)	8,8	10,7	12,2	13,8	15,6
$\gamma$	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65
$R_{bn}/R_{bnt}$ (14)	9,8	10,8	12	13,5	15,4
$R_{bn}$ (21)	0,76	1,39	1,83	2,14	2,33
$R_{bn}$ (22)	0,84	1,3	1,75	2,12	2,46

Изменение прочности кубов из цементных композитов в зависимости от размера ребра определялось по формулам (23) и (24). Результаты вычислений приведены в табл. 7 и на рис. 11.

В строке 3.1 табл. 7 приведены данные зависимости масштабного эффекта от соотношения объемов  $v_0/v$ , а в строке 3.2 – от соотношения размеров куба –  $\alpha_0/\alpha$ .

Результаты анализа полученных данных свидетельствуют о том, что для описания масштабного эффекта предпочтительнее применять формулы (19), (24), которые дают более точные оценки изменения прочности при испытании кубов различных размеров, а также учитывают через фрактальную размерность  $D$  структурную неоднородность композита.

Проведенный анализ показывает, что разрушение композитов при сжатии следует рассматривать как процесс последовательного накопления повреждений с микро- до сантиметровой, разрыхления, разупрочнения матрицы, создания условий для развития трещины (спящей или вновь сформированной). Подтверждением этого сценария являются диаграммы деформирования (рис. 12).

На рис. 12 показана диаграмма деформирования, полученная при скорости нагружения 0,5 мм/мин. В этом случае отчетливо видно, что процесс нарастания деформаций сопровождается дискретными актами повышения и падения напряжений.

При увеличении масштаба можно проследить, как меняется характер дискретных актов нагрузки и разгрузки.

На первом этапе нагружения происходит упрочнение структуры. Диаграмма имеет вид характерный для самоупрочняющихся материалов. На втором этапе наблюдается почти линейная зависимость  $\sigma$ – $\epsilon$ .

Третий этап характеризуется появлением нелинейности, обусловленной нарастанием частоты дискретных

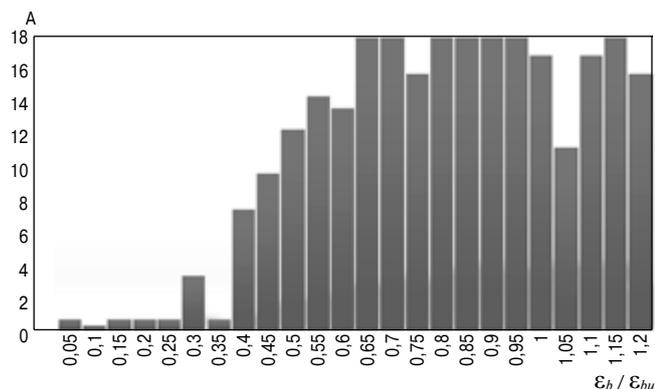


Рис. 14. Изменение амплитуды сбросов нагрузки на кривой деформирования

разрушений фракталов. Четвертый этап на диаграмме деформирования выражен ниспадающей ветвью, что означает лавинный рост магистральной трещины разрушения (рис. 13).

Диаграммы на рис. 12 и 13 получены с применением программного комплекса Welle Geotechnik R (модель 13-PD/401) при скорости нагружения 0,5 мм/мин.

На рис. 13 показано в увеличенном масштабе прерывистое развитие деформации при различных уровнях нагружения (в точках 1, 2, 3, 4, 5, 6).

В области точек 1, 2 идет уплотнение структуры бетона, разрушаются слабые, рыхлые структурные образования, закрываются трещины. Показана цепочка дискретных актов разрушения. Нагрузка увеличивается на 0,8 кН, и затем происходит сброс. Но в целом с ростом деформаций прослеживается тенденция роста воспринимаемой нагрузки. На втором участке в диапазоне 55 – 250 кН нагружение сопровождается практически стабильным нарастанием деформаций с редкими сбросами нагрузки. При нарастании деформации выше 0,35  $\epsilon_{bu}$  ( $\epsilon_{bu}$  – предельная деформация, соответствующая максимальной нагрузке при сжатии) характер дискретных разрушений меняется. Возрастает амплитуда роста нагрузки и спада, увеличивается частота сбросов нагрузки (рис. 14, 15). На отрезке диаграммы 3–5 возрастает число отказов, разрушения структурных элементов, повышается амплитуда нагрузки дискретного цикла нагружения. На шестом участке в области ниспадающей диаграммы деформирования разрушение также имеет дискретный характер.

Диаграммы деформирования убедительно показывают, что разрушение композитов при нагружении является дискретно-непрерывным процессом, т. е. он суммируется из множества отдельных, частных актов разрушения структуры.

Новожиловым В.В. введено понятие «квант разрушения» применительно к процессу, который развивается при усталостных динамических испытаниях [23]. Предлагается квант разрушения понимать как меру минимально возможного скачка трещины, который может быть реализован в данной среде. Минимально возможную удельную энергию разрушения, которая затрачивается на скачок усталостной трещины, равный кванту разрушения, определяют как квант энергии разрушения. Однако, как показывают результаты испытаний цементных композитов, под действием статического нагружения разрушение также носит квантовый характер. Непрерывный процесс складывается из дискретных процессов разрушения структуры.

Объяснение этого явления вполне соответствует гипотезе о фрактальности строения структуры композита. Сложная макроструктура формируется из более мелких структурных элементов, которые подобны целому.

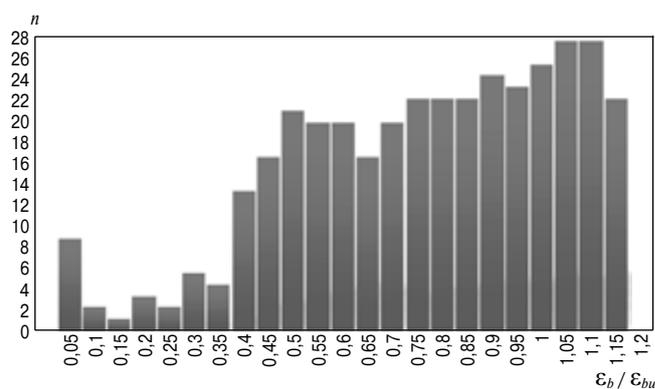


Рис. 15. Частота отказов структурных элементов с ростом деформаций

Таблица 7

Изменение прочности  $R_{bi\alpha}/R_{bio}$  кубов из цементных композитов в зависимости от  $\alpha$  размера ребра

$R_{bi\alpha}/R_{bio}$	Численные значения							
	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$2 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-1}$
$\alpha_i$ , м								
$1,97\alpha_i^{-0,25}$	11,1	6,23	3,5	1,97	1,1	1	0,93	0,788
$0,58+0,42 \cdot \left(\frac{U_0}{U}\right)^{1/B}$	–	–	42,58	4,78	1	0,86	0,79	0,685
$0,58+0,42 \cdot \left(\frac{\alpha_0}{\alpha}\right)^{1/B}$	9,61	4,78	2,53	1,48	1	0,94	0,91	0,84
$\alpha_i$ , см								
$1,75\alpha_i^{-0,25}$	10	5,6	3,16	1,77	1	0,89	0,84	0,7

**Выводы.**

Экспериментально установлено, что под действием статического нагружения непрерывный процесс разрушения складывается из дискретных актов разрушения отдельных структурных элементов (фракталов). Разрушение структуры начинается с микроуровня.

Предложены принципы, на основании которых сформирована фрактальная модель структуры цементных композитов в виде иерархически организованной масштабно-инвариантной системы. Анализ предложенных моделей позволил установить:

- зависимость прочности от размеров дефектов структуры;
- влияние сил трения на прочность цементных композитов при сжатии;
- вид функции, определяющей связь между прочностью при растяжении и сжатии.

Учет фрактального строения структуры цементных композитов позволил получить физически обоснованную аналитическую функцию для описания масштаб-

**Список литературы**

1. Ахвердов И.Н. Высокопрочный бетон. М.: Госстройиздат, 1961. 162 с.
2. Берг О.Я. К вопросу о прочности и пластичности бетона. Доклады Академии наук СССР. 1950. Т. 70. № 4. С. 617–620.
3. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.И. Высокопрочный бетон. М.: Стройиздат, 1971. 208 с.
4. Соломатов В.И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны. М.: Стройиздат, 1967. 182 с.
5. Кунцевич О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд. 1983. 132 с.
6. Саталкин А.В., Солнцева В.А., Папова О.С. Цементно-полимерные бетоны. Л.: Стройиздат, 1971. 168 с.
7. Соломатов В.И., Селяев В.П., Соколова Ю.А. Химическое сопротивление материалов. М.: РААСН, 2001. 284 с.
8. Селяев В.П., Низина Т.А., Балыков А.С., Низин Д.Р., Балбалин А.В. Фрактальный анализ кривых деформирования дисперсно-армированных мелкозернистых бетонов при сжатии // Вестник ПНИПУ. Механика. 2016. № 1. С. 129–146.
9. Мурашев В.И., Сигалов Э.Е., Байков В.Н. Железобетонные конструкции. М.: Госстройиздат, 1962. 659 с.
10. Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И. Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.

ного эффекта, согласно которой прочность композита зависит от масштабного уровня структуры, размеров образцов ( $\alpha$ ) и фрактальной размерности ( $D$ ).

Экспериментально и теоретически доказано, что цементные композиты при действии сжимающих нагрузок могут разрушаться как путем отрыва, так и путем среза. Предположение об одновременном существовании у бетона двух видов сопротивления разрушению подтверждается при анализе фрактальной модели, описывающей: соотношение между прочностью при сжатии и растяжении, проявление масштабного эффекта; зависимость прочности при сжатии от коэффициента трения; зависимость между прочностью бетона при растяжении и кубиковой прочностью.

Предлагается при расчете прочности элементов из цементных композитов, работающих на сжатие, применить условие прочности Кулона–Навье, которое учитывает влияние касательных и нормальных напряжений на процесс разрушения.

**References**

1. Akhverdov I.N. Vysokoprochnyi beton [High-strength concrete]. Moscow: Gosstroyizdat. 1961. 162 p.
2. Berg O.Ya. To a question on concrete strength and ductility. Doklady Akademii Nauk SSSR. 1950. Vol. 70. No. 4, pp. 617–620. (In Russian).
3. Berg O.Ya., Shcherbakov E.N., Pisanko G.I. Vysokoprochnyi beton [High-strength concrete]. Moscow: Sroyizdat. 1971. 208 p.
4. Solomatov V.I. Polimertsementnye betony i plastbetony [Cement-polymer concretes and polymer concretes]. Moscow: Sroyizdat. 1967.182 p.
5. Kuntsevich O.V. Betony vysokoi morozostoikosti dlya sooruzhenii Krainego Severa [Concrete high frost resistance for the construction of the Far North]. Leningrad: Sroyizdat. 1983. 132 p.
6. Satalkin A.V., Solntseva V.A., Papova O.S. Tsementno-polimernye betony [Cement-polymer concretes]. Leningrad: Sroyizdat. 1971. 168 p.
7. Solomatov V.I., Selyaev V.P., Sokolova Yu.A. Khimicheskoe soprotivlenie materialov [Chemical resistance of materials]. Moscow: RAASN. 2001. 284 p.
8. Selyaev V.P., Nizina T.A., Balykov A.S., Nizin D.R., Balbalin A.V. Fractal analysis of the deformation curves of dispersion-reinforced fine concrete in compression. Vestnik PNIPIU. Mekhanika. 2016. No. 1, pp. 129–146. (In Russian).
9. Murashev V.I., Sigalov E.E., Baikov V.N. Zhelezo-betonnye konstruktсии [Reinforced concrete structures]. Moscow: Gosstroyizdat. 1962. 659 p.
10. Sheikin A.E., Chekhovskii Yu.V., Brusser M.I. Struktura i svoystva tsementnykh betonov [Structure and properties of cement concrete]. Moscow: Stroiizdat. 1979. 344 p.
11. Ryb'ev I.A. Stroitel'nye materialy na osnove vyazhushchikh veshchestv [Construction materials based on binders]. Moscow: Vysshaya shkola. 1978. 309 p.

11. Рыбьев И.А. Строительные материалы на основе вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1978. 309 с.
12. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature. New York: Freeman, 1983. 480 p.
13. Соломатов В.И., Выровой В.Н., Селяев В.П. Полиструктурная теория композиционных строительных материалов. Ташкент: ФАН, 1991. 345 с.
14. Селяев В.П., Селяев П.В. Эволюция и проблемы технологий, надежности создания изделий на основе цементных композитов. *Материалы Российско-китайского форума инженерных технологий: Сборник трудов*. 8–16 октября 2015. КНР. г. Ханчжоу. С. 185–195.
15. Скоробогатов С.М. Катастрофы и живучесть железобетонных сооружений (классификация и элементы теории). Екатеринбург: Ур ГУПС, 2009. 512 с.
16. Зайцев Ю.М. Моделирование деформации и прочности бетона методами механики разрушения. М.: Стройиздат, 1982. 196 с.
17. Чернышев Е.М., Дьяченко Е.И., Makeev A.I. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов. Воронеж: Воронежский ГАСУ, 2012. 98 с.
18. Селяев В.П., Соломатов В.И., Ошкина Л.М. Химическое сопротивление наполненных цементных композитов. Саранск: Издательство Мордовского университета, 2001. 152 с.
19. Куприяшклина Л.И. Наполненные цементные композиты. Саранск: Издательство Мордовского университета, 2007. 180 с.
20. Федер Е. Фракталы / Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 254 с.
21. Брок Д. Основы механики разрушения / Пер. с англ. М.: Высшая школа, 1980. 368 с.
22. Травуш В.И., Селяев В.П., Селяев П.В., Кечуткина Е.Л. О возможном квантовом характере деформации и разрушения композитов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 9. С. 94–101.
23. Новожилов В.В. О необходимом и достаточном критерии хрупкой прочности // *Прикладная математика и механика*. 1969. Т. 33. Вып. 2. С. 212–222.
24. Hoek E., Bieniawski Z.T. The results of studies of the initiation and propagation of fracture from a single Griffith crack in a biaxial compressive stress field are reported in this paper // *Proceedings of the 1-st Congress of the International Society on Rock Mechanics*. Lisbon. 1966. Vol. 1, pp. 243–249.
25. Brace W.F. Brittle fracture of rocks // *International Conference on the State of Stress Earth*. New York: Elsevier. 1964. pp. 110–178.
26. Murell S. The theory of the propagation of elliptical Griffith cracks under various conditions of plane strain or plane stress // *Proceedings of the 5 the Rock Mechanics Symposium*. New York. 1963, pp. 563–577.
27. Селяев В.П., Селяев П.В., Кечуткина Е.Л. Основы фрактальной механики разрушения бетона. Механика разрушения строительных материалов и конструкций. *Материалы VIII Академических чтений РААСН. – Международной научно-технической конференции*. Казань: КГАСУ, 2014. С. 289–298.
28. Селяев В.П., Селяев П.В., Сорокин Е.В., Колотушкин А.В., Кечуткина Е.Л. Влияние сил трения на прочность бетона // *Региональная архитектура и строительство*. 2012. № 3. С. 12–17.
29. Бондаренко В.М., Селяев В.П., Селяев П.В. Физические основы прочности бетона // *Бетон и железобетон*. 2014. № 4. С. 2–6.
30. Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике. М.: Стройиздат, 1965. 279 с.
12. Mandelbrot B.B. The fractal geometry of nature. New York: Freeman. 1983. 480 p.
13. Solomatov V.I., Vyrovoi V.N., Selyaev V.P. Polistrukturnaya teoriya kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov [Polystructural theory of composite building materials.]. Tashkent: FAN. 1991. 345 p.
14. Selyaev V.P., Selyaev P.V. Evolution and challenges of technology, reliability and creating products based on cement composites. *Proceedings of the Russian-Chinese Forum of engineering technologies*. 8–16 October 2015. PRC. Hangzhou, pp. 185–195. (In Russian).
15. Skorobogatov S.M. Katastrofy i zhivuchest' zhelezobetonnykh sooruzhenii (klassifikatsiya i elementy teorii) [Accidents and vitality of reinforced concrete structures (classification and elements of the theory)]. Ekaterinburg: Ur GUPS. 2009. 512 p.
16. Zaitsev Yu.M. Modelirovanie deformatsii i prochnosti betona metodami mekhaniki razrusheniya [Modelling of deformation and strength of concrete methods of fracture mechanics]. Moscow: Stroyizdat. 1982. 196 p.
17. Chernyshev E.M., D'yachenko E.I., Makeev A.I. Neodnorodnost' struktury i soprotivlenie razrusheniyu konglomeratnykh stroitel'nykh kompozitov [The heterogeneity of the structure and fracture resistance conglomerate building composites]. Voronezh: Voronezh State Architecture and Civil Engineering. 2012. 98 p.
18. Selyaev V.P., Solomatov V.I., Oshkina L.M. Khimicheskoe soprotivlenie napolnennykh tsementnykh kompozitov [The chemical resistance of cement-filled composites]. Saransk: Publisher University of Mordovia. 2001. 152 p.
19. Kupriyashkina L.I. Napolnennyye tsementnyye kompozity [Filled cement composites]. Saransk: Publisher University of Mordovia. 2007. 180 p.
20. Feder E. Fraktaly: per. s angl [Fractals: translation from English]. Moscow: Mir. 1991. 254 p.
21. Broek D. Osnovy mekhaniki razrusheniya. Per. s angl [Basics of fracture mechanics. Translation from English]. Moscow: Vysshaya shkola. 1980. 368 p.
22. Travush V.I., Selyaev V.P., Selyaev P.V., Kechutkina E.L. On the possible quantum nature of the deformation and fracture of composites. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 9, pp. 94–101. (In Russian).
23. Novozhilov V.V. A necessary and sufficient criteria for brittle strength. *Prikladnaya matematika i mekhanika*. 1969. Vol. 33. Iss. 2, pp. 212–222. (In Russian).
24. Hoek E., Bieniawski Z.T. The results of studies of the initiation and propagation of fracture from a single Griffith crack in a biaxial compressive stress field are reported in this paper. *Proceedings of the 1-st Congress of the International Society on Rock Mechanics*. Lisbon. 1966. Vol. 1, pp. 243–249.
25. Brace W.F. Brittle fracture of rocks. *International Conference on the State of Stress Earth*. New York: Elsevier. 1964. pp. 110–178.
26. Murell S. The theory of the propagation of elliptical Griffith cracks under various conditions of plane strain or plane stress. *Proceedings of the 5 the Rock Mechanics Symposium*. New York. 1963, pp. 563–577.
27. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Kechutkina E.L. Basics fractal mechanics of concrete deterioration. Fracture mechanics of materials and structures. *Materials VIII Academic readings RAASN. – International scientific and technical conference*. 2014. Kazan: KGASU, pp. 289–298. (In Russian).
28. Selyaev V.P., Selyaev P.V., Sorokin E.V., Kolotushkin A.V., Kechutkina E.L. Influence of friction on the strength of concrete strength. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2012. No. 3, pp. 12–17. (In Russian).
29. Bondarenko V.M., Selyaev V.P., Selyaev P.V. Physical basis of concrete strength. *Beton i zhelezobeton*. 2014. No. 4, pp. 2–6. (In Russian).
30. Bolotin V.V. Statisticheskie metody v stroitel'noi mekhanike [Statistical methods in structural mechanics]. Moscow: Stroyizdat. 1965. 279 p.

А.Ю. ФОМИН, канд. техн. наук, В.Г. ХОЗИН, д-р техн. наук (khozin@kgaza.ru)

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

## Новые серосодержащие материалы для дорожного строительства

Актуальность работы обусловлена как задачей эффективной утилизации все возрастающих промышленных выходов серы, так и возможностью использования местных слабых каменных материалов, не нашедших широкого применения. Установлено, что импрегнация расплава серы в поры щебня и его кристаллизация способствуют образованию прочного градиентного слоя с измененными свойствами, выражающимися, в повышении твердости поверхности зерен и проявлении гидрофобности, что в свою очередь отражается и на изменении эксплуатационно-технических свойствах щебня. Так, показатель марки по дробимости обработанного щебня достигает значения 1200, а показатель водонасыщения снижается. Полученный материал может применяться в основаниях конструкций дорожных одежд, а также в составах горячих асфальтобетонных смесей. Так, асфальтобетоны на обработанном щебне по показателям прочности при сжатии и усталостной прочности превышают минимальные требования ГОСТ 9128–2013, предъявляемые к типу Б, в среднем в 1,5–2 раза.

**Ключевые слова:** сера, щебень, импрегнация, асфальтобетон, автомобильная дорога.

A.Yu. FOMIN, Candidate of Sciences (Engineering), V.G. KHOZIN, Doctor of Sciences (Engineering) (khozin@kgaza.ru)  
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

### New Sulfur-Containing Materials for Road Construction

The relevance of the work is determined both by the problem of efficient utilization of increasing sulfur industrial discharges and the possibility of using local weak stone materials which are not widely used. It is established that the impregnation of sulfur melts into the pores of crushed stone facilitates the formation of a durable gradient layer with changed properties that resulting in increasing the hardness of grain surfaces and manifestation of hydrophobicity and that in its turn affect the change in operational-technical properties of crushed stone. This, the index of crushability of processed crushed stone reaches the value of 1200, and the water saturation index reduces. The produced material can be used in the bases of road pavement structures as well as in compositions of hot asphalt concrete mixes. Thus, asphalt concretes with processed crushed stone regarding the values of compressive strength and resistance to fatigue exceed the minimal requirements of GOST 9128–2013 set for B type by 1.5–2 times on the average.

**Keywords:** sulfur, crushed stone, impregnation, asphalt concrete, auto road.

Одним из потенциальных источников пополнения материальных ресурсов дорожно-строительной отрасли РФ являются серосодержащие материалы, разработка и промышленное освоение которых является задачей сегодняшнего дня. При этом речь идет не об использовании серы как балласта – в виде песка или грунта, а о материалах, в которых сера как основополагающий компонент обеспечивает высокий технический эффект – гидрофобность, сравнительно высокую прочность, морозостойкость, долговечность, присущие таким известным композиционным материалам, как серный бетон, сероасфальтобетон и др.

Высокое качество получаемых изделий, простота технологии их получения, а также низкая стоимость расходных компонентов позволяют серным материалам быть конкурентоспособными по отношению к традиционным строительным материалам на минеральных и иных вяжущих [1].

Перспективным направлением широкого применения серы может быть пропитка ее расплавом капиллярно-пористых малопрочных материалов с целью их гидрофобизации и упрочнения. В практике уже известна пропитка серой цементного бетона, керамических материалов, древесины, в результате которой в разы увеличивается прочность и снижается водопоглощение. Материалы приобретают высокую коррозионную стойкость к растворам солей и кислот [2, 3, 4], что расширяет возможность их применения. Однако для обеспечения требуемого экономического эффекта технологией пропитки серой нужно охватить местные сырьевые материалы – слабые, некондиционные, не нашедшие широкого применения в дорожном строительстве, но имеющие при этом крупнотоннажный потенциал месторождений, а также структуру и поверхностные свойства, позволяющие обеспечить высокий синергетический эффект при объединении с серой.

Речь идет о карбонатных породах (известняках и доломитах), месторождения и карьеры которых распространены в Европейской части Российской Федерации, и в частности на территории Республики Татарстан. Щебень, производимый из них, соответствует в основном маркам 200–400, реже 400–600, и не находит широкого применения в дорожном строительстве вследствие низкой долговечности. Более прочный щебень из изверженных пород (гранита, сиенита, габбро и др.) поставляется в основном с Урала. При этом потребность дорожно-строительной отрасли в щебне огромная – только в Республике Татарстан она составляет около 4 млн м<sup>3</sup>/г.

Для придания гидрофобности и водостойкости щебню из осадочных пород существуют способы их укрепления растворами лигносульфонатов [5], пропиткой битумами.

Перспективным промышленным способом укрепления щебня из слабых пород может стать пропитка его поверхности расплавом серы с последующей ее кристаллизацией в порах с образованием плотного градиентного слоя толщиной 3–5 мм, обеспечивающего эффект усиления. Для реализации этой технологии есть следующие благоприятные предпосылки.

Сера обладает низкими значениями температуры плавления (112,8–119,3°C) и вязкости расплава (6,5·10<sup>-3</sup> Па·с). В твердом, кристаллическом виде сера обладает достаточной механической прочностью, гидрофобностью, водостойкостью [6]. Расплав серы способен глубоко проникать в капилляры материалов и в процессе кристаллизации при охлаждении прочно соединяться с матрицей, образуя новый материал с взаимопроникающей структурой (ВПС). В России ежегодно производится около 7 млн т технической серы, образующейся в результате нефте- и газоочистки, с ежегодным приростом в среднем на 0,2 млн т. Подавляющий объем выпуска такой «попутной» серы

Наименование характеристик	Численные показатели
Марка по дробимости	300
Морозостойкость, циклов не менее	25
Марка по истираемости	И3
Водопоглощение, %	2–7,5
Пористость, %	9,5–27,5

приходится на газовую промышленность. В Республике Татарстан основным сырьевым источником серы являются высокосернистые нефти. Вместе с тем на ней имеется 340 месторождений карбонатных пород с общим запасом более 400 тыс м<sup>3</sup>, из них пригодного для производства малопрочного щебня – 180 тыс м<sup>3</sup>.

Учитывая вышеизложенное, авторы полагают, что разработка и организация технологии производства новых строительных материалов на основе малопрочного щебня из осадочных пород и серы может стать реальной перспективой. В этой связи в работе рассмотрено два направления исследований. Первое – получение высокопрочного и водостойкого щебня; второе – изготовление материалов, в составе которых традиционно до сих пор применяется щебень из прочных горных пород. Таковыми в первую очередь являются дорожные асфальтобетоны. В этом случае предполагается совместить в одном производственном цикле решение двух технических задач – пропитку серой щебня и производство из него асфальтобетонной смеси.

Объектом исследований был взят щебень из осадочных карбонатных пород Альдермышского месторождения Республики Татарстан. Его характеристики представлены в таблице.

Согласно требованиям действующего СП 34.13330.2012 и дорожно-строительной классификации, такой щебень не пригоден для дорожного строительства, в том числе для дорог низших IV и V технических категорий.

Для изучения эффективности пропитки щебня расплавом серы исследовали его фракции 5–10, 10–20 и 40–70 мм. В ходе эксперимента предварительно нагретый до рабочей температуры 155°C щебень смешивали с расплавом серы. Далее по завершении процессов охлаждения и кристаллизации серы в порах известняка исследовали структуру и определяли физико-механические показатели «серощебня».

Рентгенографические исследования показали, что сера, находящаяся в порах и капиллярах зерен щебня, имеет кристаллическую структуру, соответствующую аллотропной ромбической α-модификации серы.

Данные, представленные на кинетических зависимостях, отражают высокую эффективность укрепления щебня серой, выраженную в сравнительно высоких показателях марки по дробимости, достигающей значения 1200 (рис. 1). Основной особенностью пропитки известнякового щебня серой является низкий краевой угол смачивания его расплавом, обеспечивающий высокую адгезию. Заполнение капиллярных пор известняка серой превращает дефектные камни в монолитный композиционный материал типа ВПС с высокой механической прочностью и водонепроницаемостью.

Образующийся в результате пропитки известнякового щебня расплавом серы градиентный приповерхностный слой с более плотной структурой препятствует проникновению воды в поровое пространство среднего «ядра» и обеспечивает его надежное капсулирование. Как видно из представленных данных, водопоглощение пропитанного щебня монотонно убывает в зависимости от времени пропитки (рис. 2).

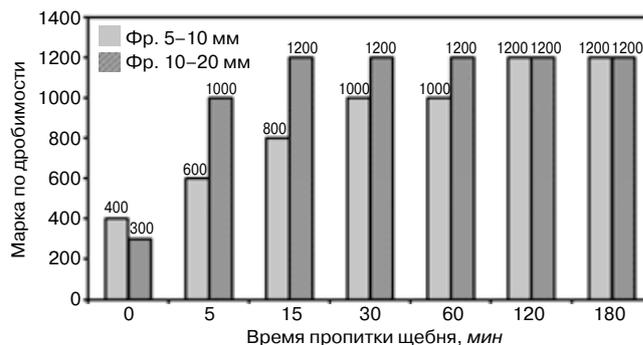


Рис. 1. Кинетическая зависимость марки укрепленного щебня по дробимости

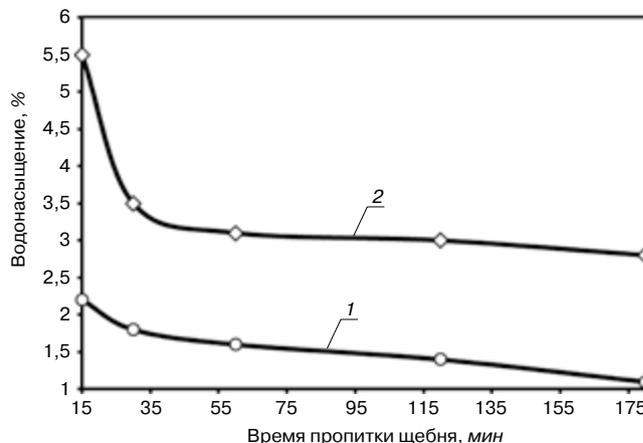


Рис. 2. Концентрационная зависимость водопоглощения укрепленного щебня фракции: 1 – 5–10 мм; 2 – 10–20 мм

Показатель истираемости обработанного серой щебня в среднем ниже, чем у исходного, на 18,5 % и соответствует марке И1; марка по морозостойкости достигает F300.

Установлено основное требование к исходному сырью: для получения высокой эффективности импрегнирования поверхность зерен щебня должна быть сухой и чистой, без наличия глинистых частиц в структуре. Гидрофильная глина не полностью пропитывается серой, склонна к набуханию в воде, что снижает эффект упрочнения в среднем на 30%.

Анализируя полученные результаты, авторы полагают, что полученный «серощебень» может применяться в дорожном строительстве в качестве материала для устройства оснований автомобильных дорог, подстилающих дренающих слоев, покрытий переходного типа, а также в качестве крупного заполнителя в составе асфальтобетонных смесей.

В практике дорожного строительства известно применение серосодержащих асфальтобетонных смесей, производимых на основе вяжущего серобитума – материала, включающего 20–40 мас. % серы. В проведенных авторами исследованиях установлено, что введение серы в битум способствует некоторому повышению прочности и теплостойкости вяжущих и асфальтобетонов на их основе, что, безусловно, позволяет сократить расход битума. Вместе с тем сера термодинамически несовместима с битумом и поэтому при охлаждении совместного расплава выделяется в отдельную фазу, играя роль дисперсного наполнителя, снижающего его пластичность, что проявляется в уменьшении показателя растяжимости в 7–8 раз, повышении температуры хрупкости в среднем в два раза, снижении деформативности вяжущего. Структура серобитума в твердом состоянии является наполненной двухфазной системой, а введение наполнителей или полимеров в битум, как известно [7, 8],

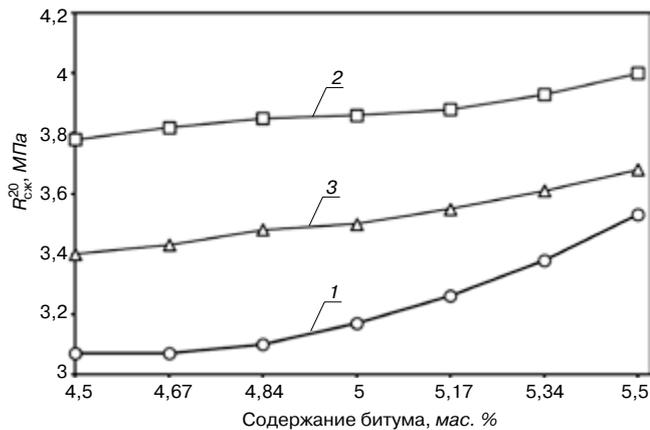


Рис. 3. Концентрационная зависимость прочности асфальтобетонов. Асфальтобетон на щебне, обработанном: 1 – 10 мас. % серы; 2 – 20 мас. % серы; 3 – 30 мас. % серы

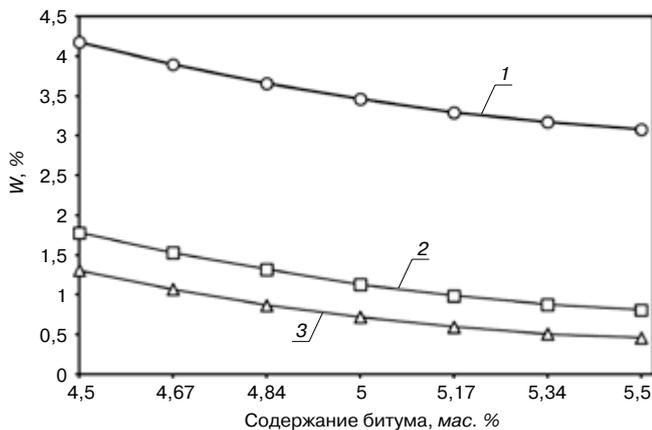


Рис. 4. Концентрационная зависимость водонасыщения асфальтобетонов. Асфальтобетон на щебне, обработанном: 1 – 10 мас. % серы; 2 – 20 мас. % серы; 3 – 30 мас. % серы

снижает способность к деформированию, и в тем большей степени, чем выше концентрация.

По мнению авторов, применение «серощебня», укрепленного серой, в составе асфальтобетонной смеси позволит сохранить реологические свойства битума, обеспечить высокую когезионную прочность материала и получить новые эффективные составы серосодержащих асфальтобетонов.

С применением методов математического планирования эксперимента была разработана матрица, учитывающая два переменных параметра: содержание вяжущего и массовое соотношение щебня фракций 5–10, 10–20 мм в составе минеральной части смеси.

На основе полученных рецептов минеральной части были приготовлены составы асфальтобетонов типа Б, марки П и исследованы их свойства. Количество вводимой в смесь щебня серы варьировали в пределах 10–30 мас. %. Анализ физико-механических показателей свойств полученных асфальтобетонов показал, что они находятся на сравнительно высоком уровне и превышают минимальные требования ГОСТ 9128–2013. Так, предел прочности при сжатии при 20 и 50°C выше нормативных требований в 2 и 1,5 раза соответственно (рис. 3).

Водонасыщение асфальтобетона на «серощебне» в 4,5 раза ниже, чем на исходном известняке, и сильно уменьшается с ростом концентрации серы в щебне (рис. 4).

Количество циклов нагружения асфальтобетона на «серощебне» при испытании на усталость в сравнении с асфальтобетоном на гранитном заполнителе возросло в два раза, что косвенно свидетельствует об эксплуатационной долговечности. Установлено, что оптимальное

содержание «серощебня» фракций 5–10 мм в составе асфальтобетонной смеси составляет 16 и 26 мас. % фракций 10–20 мм соответственно.

Целью дальнейших исследований является изучение прочих параметров долговечности асфальтобетонов на «серощебне», таких как колееобразование, истираемость, морозостойкость.

Список литературы

1. Королев Е.В. Серные композиционные материалы специального назначения. Дисс... д-ра техн. наук. Пенза, 2005. 476 с.
2. Mehta H.C., Chen W.F. Structural use of Sulfur for Impregnation of Building Materials. Fritz Engineering Laboratory. Length University. 1974.
3. Циак Н. Анализ влияния состава жидких агрессивных сред на коррозионную стойкость цементных бетонов, пропитанных расплавом серы // *Строительство и техногенная безопасность: Сборник трудов международной конференции*. Симферополь, 2007. С. 50–52.
4. Фомин А.Ю., Хозин В.Г., Козлов В.С. К вопросу об эффективности серосодержащих дорожно-строительных материалов: *Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции*. Казань, 2008. С. 332–335.
5. Патент РФ 2408550. *Способ приготовления известнякового строительного щебня* / Глинянова И.Ю., Фомичёв В.Т., Романов С.И. Заявл. 28.09.2009. Оpubл. 10.01.2011. Бюл. № 1.
6. Бусев А.И., Симонова Л.Н. Аналитическая химия серы. М.: Наука, 1975. 271 с.
7. Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. М.: Химия, 1988. 256 с.
8. Урьев Н.Б., Ребиндер П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика. М.: Наука, 1979. 136 с.

References

1. Korolev E.V. Sulfur-based special purposed composite materials. Doct... Diss (Engineering). Penza. 2005. 476 p. (In Russian).
2. Mehta, H.C., Chen, W.F. Structural use of Sulfur for Impregnation of Building Materials. Fritz Engineering Laboratory. Length University. 1974.
3. Tsiak N. Influence analysis of aggressive solutions on resistance of cement concretes impregnated with melted sulfur. *Construction and technological safety: Proceedings of International conference*. Simferopol. 2007, pp. 50–52. (In Russian).
4. Fomin A.Yu., Khozin V.G., Kozlov V.S. To a question of efficiency of sulfur-containing materials for road construction. *Proceedings of All-Russia scientific and technical conference*. Kazan. 2008, pp. 332–335. (In Russian).
5. Patent RF 2408550. *Sposob prigotovleniya izvestnyakovogo stroitel'nogo shchebnya* [Method of preparation of limestone building macadam]. Glinyaynova I.U., Fomichchev V.T., Romanov S.I.; Declared 28.09.2009. Published 10.01.2011. Bulletin No. 1. (In Russian).
6. Busev, A.I., Simonova, L.N. Analiticheskaya khimiya sery [Analytical chemistry of sulfur]. Moscow: Nauka. 1975. 275 p.
7. Uriev N.B. Fiziko-khimicheskie osnovy tekhnologii dispersnykh system I materialov [Physical and chemical basics of dispersion systems and materials technology]. Moscow: Khimiya. 1988. 256 p.
8. Uriev N.B., Rebinder P.A. Poverkhnostnye yavleniya d dispersnykh sistemakh. Fiziko-khimicheskaya mekhanika [Surface phenomena in dispersion systems. Physical and chemical mechanics]. Moscow: Nauka. 1979. 136 p.

УДК 694.14:536.255

С.В. ФЕДОСОВ<sup>1</sup>, д-р техн. наук, академик РААСН, президент (prezident@ivgpu.com);  
 В.Г. КОТЛОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук, советник РААСН (KotlovVG@volgatech.net);  
 Р.М. АЛОЯН<sup>1</sup>, д-р техн. наук, чл.-кор. РААСН, ректор,  
 М.В. БОЧКОВ<sup>1</sup>, инженер, Р.А. МАКАРОВ<sup>1</sup>, инженер (MakarovRA1@gmail.com)

<sup>1</sup> Ивановский государственный политехнический университет (153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20)

<sup>2</sup> Поволжский государственный технологический университет (424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3)

## Экспериментальное исследование процессов теплопереноса в болтовом нагельном соединении

Изложена методология исследования процессов теплопереноса в нагельных соединениях стропильных конструкций, основанная на мониторинге динамики тепловых полей в древесине с помощью тепловизора. Приведены результаты экспериментальных исследований в процессах нагревания и охлаждения нагеля в форме болтового соединения. Цветовая гамма температурных полей иллюстрирует и подтверждает изложенные ранее физические представления об особенностях механизма теплопереноса в системе металлический нагель – древесина при изменении температурно-влажностных параметров среды эксплуатации. Приведена математическая модель в форме краевой задачи теплопроводности; показаны результаты расчетов, свидетельствующие об адекватности математической модели экспериментальным данным.

**Ключевые слова:** нагель, древесина, тепломассообмен, метод микропроцессов, краевая задача теплопроводности.

S.V. FEDOSOV<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Academician of RAACS, President (prezident@ivgpu.com);

V.G. KOTLOV<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), Counsellor of RAACS (KotlovVG@volgatech.net);

R.M. ALOYAN<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAACS, Rector,

M.V. BOCHKOV<sup>1</sup>, Engineer, R.A. MAKAROV<sup>1</sup>, Post-graduate student (MakarovRA1@gmail.com)

<sup>1</sup> Ivanovo State Polytechnical University (20, Mart 8<sup>th</sup> Street, Ivanovo, 153037, Russian Federation)

<sup>2</sup> Volga State University of Technology (3, Lenin Square, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424000, Russian Federation)

### Experimental Study of Heat Transfer Processes in a Bolt Dowel Joints

Methods for the study of heat transfer processes in dowel joints of roof frameworks, which is based on the monitoring of the dynamic of thermal fields in timber with the help of a thermovisor, are outlined. Results of experimental research in heating and cooling processes of a dowel in the form of bolt junction are presented. The color array of temperature fields illustrates and confirms outlined earlier physical representations about features of the heat transfer mechanism in the system "metallic dowel – timber" when changing temperature-humidity parameters of the operation environment. The mathematical model in the form of an end problem of heat conductivity is presented; results of the calculation, which testify the adequacy of the mathematical model to the experimental data, are shown.

**Keywords:** dowel, timber, heat and mass transfer, micro-processes method, end problem of heat conductivity.

С началом промышленного производства металла соединения элементов деревянных стропильных конструкций стали выполняться с использованием механических связей (МЗП, стальные болты, скобы и т. д.) [1].

На холодных чердаках элементы стропильной системы располагаются в непосредственной близости к кровельному покрытию (от 20 до 70 мм), которое часто выполняется из стальных листов. В летний период из-за низкой тепловой инерции кровельного покрытия температурно-влажностный режим в чердачном помещении изменяется по циклическому закону: днем температура воздуха повышается, а относительная влажность понижается, ночью наоборот – температура воздуха понижается, относительная влажность повышается.

При таком режиме эксплуатации на поверхности болтовых соединений стропильных конструкций конденсируется влага, которая диффундирует в прилегающие слои древесины. Вследствие коррозионных процессов сечение болта уменьшается, а прилегающие слои древесины подвергаются гниению, что приводит к снижению несущей способности соединения и всей стропильной конструкции в целом (рис. 1). Обработка стропильных конструкций огне- и биозащитными пропитками повышает скорость коррозии стальных крепежных изделий. В зависимости от состава пропитки скорость коррозии может возрасти в 3–7 раз [2]. Отмечается, что даже оцинкованные стальные болты подвергаются коррозии уже через 2–3 года эксплуатации [3].

Несмотря на то что нормативный срок эксплуатации стропильных деревянных конструкций составляет не более 50–60 лет, фактически большинство таких

конструкций эксплуатируется дольше этого срока. Актуальной является задача теоретического изучения процессов, которые происходят в системе металл – древесина при циклически изменяющихся режимах эксплуатации в течение продолжительного периода.

Характер взаимодействия нагельного соединения с воздушной окружающей средой можно представить в виде графиков изменения температуры болта и прилегающего к нему слоя древесины по времени (рис. 2–4). Процесс этого взаимодействия подробно описан в работе [4].



**Рис. 1.** Болтовое соединение составной деревянной балки стропильной конструкции здания учебного корпуса № 2 Поволжского государственного технологического университета после 60 лет эксплуатации

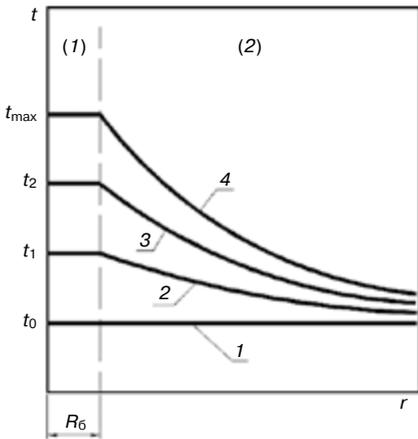


Рис. 2. График изменения температуры в толще древесины (2) при росте температуры металла (1);  $R_6$  – радиус болта; 1–4 – температурные кривые за период  $\tau_1$ – $\tau_4$  ( $t_{\max} > t_2 > t_1 > t_0$ ,  $\tau_4 > \tau_3 > \tau_2 > \tau_1$ )

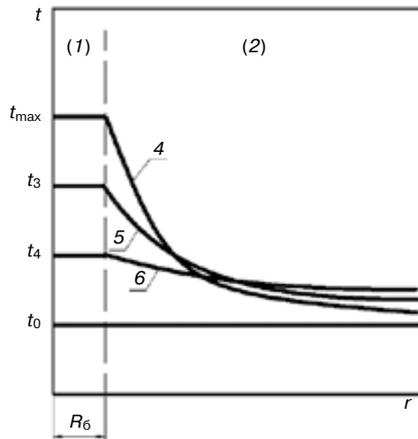


Рис. 3. График изменения температуры в древесине (2) на стадии малоинтенсивного охлаждения металла; 4–6 – температурные кривые за период  $\tau_4$ – $\tau_6$  ( $t_{\max} > t_3 > t_4 > t_0$ ,  $\tau_4 < \tau_5 < \tau_6$ )

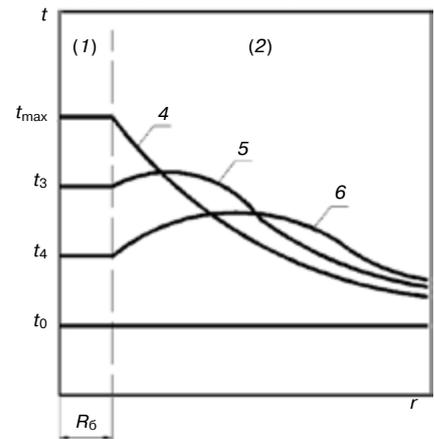


Рис. 4. График изменения температуры в древесине (2) на стадии высокоинтенсивного охлаждения металла; 4–6 – температурные кривые за период  $\tau_4$ – $\tau_6$  ( $t_{\max} > t_3 > t_4 > t_0$ ,  $\tau_4 < \tau_5 < \tau_6$ )

В работе [4] сформулирована физико-математическая краевая задача переноса теплоты и массы вещества (влаги) в системе металл – древесина в воздушной среде с переменными температурой и влажностью при испарении и конденсации влаги (1)–(5):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial t}{\partial \tau} &= \text{div}(a \text{grad}(t)) + \varepsilon \frac{r^*}{c} \frac{\partial u}{\partial \tau} \\ \frac{\partial u}{\partial \tau} &= \text{div}(k \text{grad}(u)) + \text{div}(k \delta_r \text{grad}(t)) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$t(x, y, z, \tau)|_{\tau=0} = t_0(x, y, z); \quad (2)$$

$$u(x, y, z, \tau)|_{\tau=0} = u_0(x, y, z). \quad (3)$$

$$\alpha[t_c(\tau) - t(x, y, z, \tau)] = \lambda \nabla t(x, y, z, \tau) + q_m(\tau) r^* \quad (4)$$

$$\begin{aligned} q_m(\tau) &= \beta[u_{nc}(\tau) - u_c(\tau)]\rho_r = \\ &= -k\rho_0 [\nabla u(x, y, z, \tau) + \delta_T \nabla t(x, y, z, \tau)]. \end{aligned} \quad (5)$$

В приведенных выражениях обозначения величин такие же, как в [4, 5].

В работе [5] представлены математические модели теплопереноса в прилегающем к болту (6)–(9) и следующем за ним (10)–(13) слоях древесины:

$$\frac{\partial T_1(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T_1(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2}; \quad Fo > 0; \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1; \quad (6)$$

$$T_1(\bar{r}, Fo)|_{Fo=0} = T_{1,0}(\bar{r}); \quad (7)$$

$$T_1(\bar{r}, Fo)|_{\bar{r}=0} = T_{R,1}; \quad (8)$$

$$T_1(\bar{r}, Fo)|_{\bar{r}=1} = 0; \quad (9)$$

$$\frac{\partial T_2(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T_2(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2}; \quad Fo > 0; \quad 0 \leq \bar{r} \leq \frac{R_2 - R_1}{R_2}; \quad (10)$$

$$T_2(\bar{r}, Fo)|_{Fo=0} = T_{2,0}(\bar{r}); \quad (11)$$

$$\frac{\partial T(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}} \Big|_{\bar{r}=0} = -Ki_i; \quad (12)$$

$$T_2(\bar{r}, Fo)|_{\bar{r}=1} = 0 \quad (13)$$

и их решения (10)–(11):

$$\begin{aligned} T_1(\bar{r}, Fo) &= T_{R,1} \left[ (1-\bar{r}) - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(\pi n \bar{r}) \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo) \right] + \\ &+ 2 \sum_{n=1}^{\infty} \sin(\pi n \bar{r}) \int_0^1 T_{1,0}(\xi) \sin(\pi n \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo); \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} T_2(\bar{r}, Fo) &= Ki_i \left\{ (1-\bar{r}) - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \cos \left[ \frac{\pi}{2} (2n-1) \bar{r} \right] \cdot \right. \\ &\cdot \exp \left[ -\frac{\pi^2}{4} (2n-1)^2 Fo \right] \left. \right\} + 2 \int_0^1 T_{2,0}(\xi) d\xi + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos \left[ \frac{\pi}{2} (2n-1) \bar{r} \right] \cdot \\ &\cdot \exp \left[ -\frac{\pi^2}{4} (2n-1)^2 Fo \right] \int_0^1 T_{2,0}(\xi) \cos \left[ \frac{\pi}{2} (2n-1) \xi \right] d\xi. \end{aligned} \quad (15)$$

В результате получены кривые, иллюстрирующие изменение безразмерной температуры по безразмерной координате в зависимости от безразмерного времени процесса (рис. 5).

Расчет проводился по методу «микропроцессов», в основу которого положено представление всего процесса теплопереноса цепью последовательных процессов, в пределах которых определяемые параметры считаются постоянными, но скачкообразно меняющимися при переходе от одного процесса к другому [6].

Для подтверждения решений (14)–(15) был проведен эксперимент, моделирующий процесс нагрева болта при повышении температуры в чердачном помещении. В предварительно высверленное отверстие в деревянном бруске из сосны плотностью  $\rho = 550 \text{ кг/м}^3$ , теплоемкостью  $c = 2510 \text{ Дж/(кг·К)}$ , теплопроводностью  $\lambda = 0,17 \text{ Вт/(м·К)}$  помещался нагретый стальной болт, и через равные промежутки времени фиксировалось распределение температуры в древесине около болта с помощью тепловизора. Схема и фотография установки представлены на рис. 6.

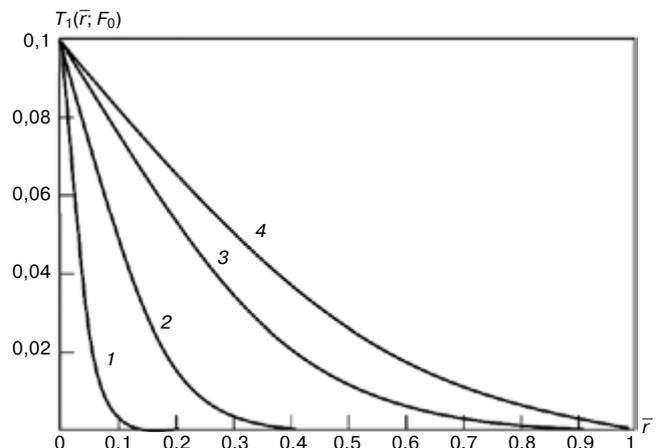


Рис. 5. Иллюстрация расчетов по выражению (10): 1 – 0,001; 2 – 0,01; 3 – 0,05; 4 – 0,1

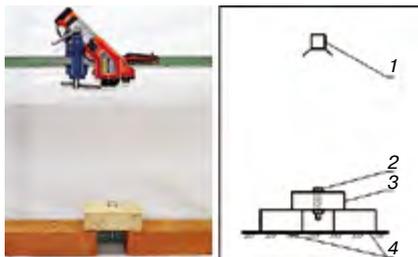


Рис. 6. Экспериментальная установка: 1 – тепловизор; 2 – болт М16; 3 – брусок 150×150×50 мм из сосны; 4 – опоры

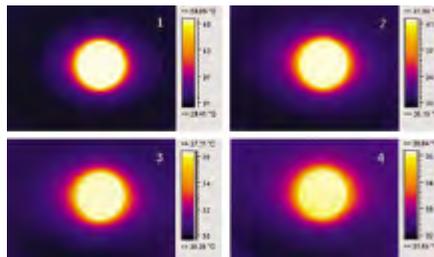


Рис. 7. Инфракрасные изображения нагельного соединения после нагрева болта: 1 – 5 мин; 2 – 10 мин; 3 – 20 мин; 4 – 30 мин

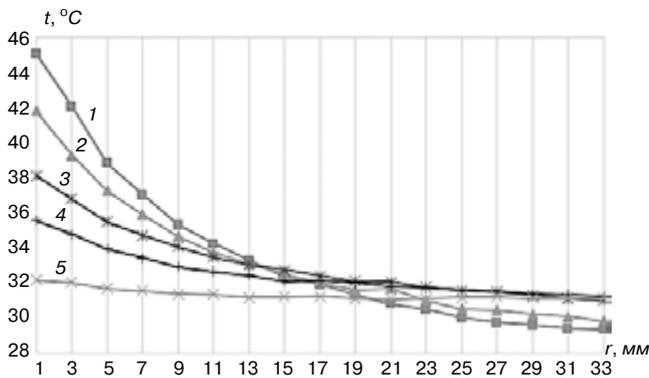


Рис. 8. Кривые нагрева древесины по направлению волокон: 1 – 5 мин; 2 – 10 мин; 3 – 20 мин; 4 – 30 мин; 5 – 60 мин

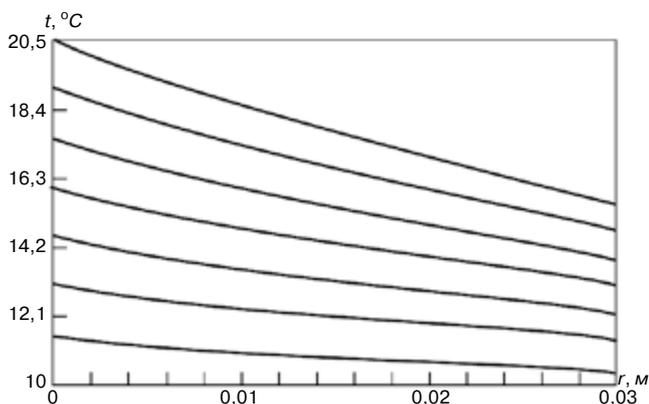


Рис. 9. Результаты расчетов теплопереноса в нагельном соединении в физических переменных

Измерения проводились при температуре 26°C и относительной влажности воздуха 65%, шаг измерений 5 мин. В результате были получены данные о распределении температуры по поверхности древесины (рис. 7) и построены кривые нагрева древесины (рис. 8).

В работе [5] приведены результаты численного расчета полей температуры в прилегающих к болту слоям древесины при повышении температуры болта на 1,5 К/час (рис. 8).

На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

- общий вид температурных кривых соответствует процессу теплопереноса в системе нагель – древесина при малоинтенсивном охлаждении металла;
- максимальное изменение температуры древесины происходит в слое на расстоянии не более 15 мм от поверхности нагеля;
- к равновесному температурному состоянию система нагель – древесина приходит примерно через 60 мин.

Экспериментальные исследования проводились в условиях, приближенным к реальным, поэтому полученные выводы можно считать справедливыми и для

процессов теплопереноса, происходящих в эксплуатируемых стропильных конструкциях.

За рубежом проводились эксперименты по изучению температурно-влажностного режима чердачных помещений [7–8]. В отечественной научной литературе таких экспериментальных данных не представлено, поэтому для изучения влияния материала кровельного покрытия и типа чердачного помещения на долговечность болтовых соединений стропильных конструкций необходимо проведение дополнительных экспериментальных исследований.

#### Список литературы / References

1. Халтурин Ю.В., Пантюшина Л.Н., Пантюшина Е.В. Конструкции из дерева и пластмасс: Монография. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. 163 с.
1. Khalturin Yu.V., Pantyushina L.N., Pantyushina E.V. Konstruktsii iz dereva i plastmass: monografiya [Constructions of wood and plastics: a monograph]. Barnaul: AltGTU. 2010. 163 p.
2. Li Z., Marston N., Jones M. Corrosion of fasteners in treated timber field exposure testing. *International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Porto. PORTUGAL. April 12–15, 2011.
3. Zelinka S.L., Rammer D.R. Modeling the effect of nail corrosion on the lateral strength of joints. *Forest Products Journal*. 2012. Vol. 62 (3), pp. 160–166.
4. Федосов С.В., Котлов В.Г., Алоян Р.М., Ясинский Ф.Н., Бочков М.В. Моделирование теплопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Ч. 1. Общая физико-математическая постановка задачи // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 86–91.
4. Fedosov S.V., Kotlov V.G., Aloyan R.M., Yasinskii F.N., Bochkov M.V. Simulation of heat-and-mass transfer in gas-solid system at nailed connection of timber structures elements. Part 1. General physical-mathematical statement of problem. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 86–91. (In Russian).
5. Федосов С.В., Котлов В.Г., Алоян Р.М., Ясинский Ф.Н., Бочков М.В. Моделирование теплопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Ч. 2. Динамика полей температуры при произвольном законе изменения температуры воздушной среды // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 73–79.
5. Fedosov S.V., Kotlov V.G., Aloyan R.M., Yasinskii F.N., Bochkov M.V. Simulation of heat-mass transfer in the gas-solid system at dowel joints of timber structures elements. Part 2. Dynamics of temperature fields at arbitrary law of changes of air environment temperature. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 8, pp. 73–79. (In Russian).
6. Федосов С.В. Теплоперенос в технологических процессах строительной индустрии. Иваново: ПресСто, 2010. 364 с.
6. Fedosov S.V. Teplomassoperenos v tekhnologicheskikh protsessakh stroitel'noi industrii [Heat and mass transfer in technological processes in construction industry]. Ivanovo: PresSto. 2010. 364 p.
7. Prah D., Shaffer M. Moisture risk in unvented attics due to air leakage paths. DOE/GO-102013-3828. November, 2014. <http://www.nrel.gov/docs/ty15osti/63048.pdf>.
8. Roppel P., Lawton M. Attic ventilation and moisture research study. Homeowner Protection Office, Burnaby, BC, Canada. 2014. <https://hpo.bc.ca/files/download/Report/Attic-Research-Study-Final.pdf>.

## Методики и результаты натурных испытаний технических тканей с покрытием.

### Часть 2. Обзор проведенных исследований

Продолжено ранее начатое описание методик и результатов испытаний технической ткани с покрытием. Так же как и в первой части, приведены отечественные и зарубежные нормативные документы по испытаниям материала. Представлены следующие виды испытаний: на раздирающую нагрузку; на стойкость к низкой температуре и многократному изгибу; на прочность швов; на повреждаемость, истираемость и герметичность материала; на естественное и ускоренное старение технической ткани с покрытием; на адгезионную прочность связи между слоями материала; испытания, связанные с оценкой пожаробезопасности технических тканей с покрытием, а также представлен пример специального вида испытания материала. В заключение приводятся общие выводы по работе.

**Ключевые слова:** техническая ткань с покрытием, методики натурных испытаний.

A.A. KUSTOV, Engineer (KustovAlexey@outlook.com), A.M. IBRAGIMOV, Doctor of Sciences (Engineering) (lgasu\_alex@mail.ru)  
 National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

#### Procedures and Results of Full Scale Tests of Technical Fabrics with Coating. Part 2. Review of Conducted Studies

The previously started description of procedures and results of tests of a technical fabric with coating is continued. As in the first part, national and foreign regulation documents about material testing are presented. The following tests are presented: test for rip load, resistance to low temperature and repeated flexing, joints strength, damageability, wearability and tightness of material, for natural and accelerated aging of technical fabric with coating, adhesion strength of connection of material layers, tests connected with evaluating the fire safety of technical fabrics with coating, as well as an example of a special type of material testing is presented. General conclusions are presented.

**Keywords:** technical fabric with coating, procedures of full-scale tests.

Представленная работа является продолжением статьи [1] и также посвящена современным методикам и результатам испытаний технических тканей с покрытием. Одна из целей была в представлении и систематизации различных видов испытаний, существующих в настоящее время, и их результатов. Другой целью явилось сравнение методик и результатов испытаний материала по различным нормативным документам разных стран.

#### Испытания на раздирающую нагрузку

В России техническую ткань с покрытием испытывают на раздирающую нагрузку по ГОСТ 30304–95 «Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение сопротивления раздиру». Данный стандарт описывает два метода для проведения испытаний:

- метод с двумя разрезами (метод «язычка» (рис. 1, а);
- метод с одним разрезом (метод «брюк» или «лапки» (рис. 1, б).

В ходе проведения испытания экспериментальное оборудование поддерживает постоянную скорость (100 мм/мин или 300 мм/мин) с автоматической записью силы. Обычно используются безынерционные типы динамометров. Подготовка образцов для испытания зависит от используемого метода, длина материала принимается 225 мм, ширина – 75 мм. Длина продольного разреза – 100 мм.

Показатели раздирающей нагрузки, определенные этими методами, отличаются практически вдвое. Наиболее используемым в нашей стране является метод с одним разрезом, а, например, в Великобритании отдают предпочтение методу с двумя разрезами. Исходя из такой разницы в полученных данных при сравнении показателей раздирающей нагрузки тканей с покрытиями всегда следует уточнять, какие использовались образцы [2].

На рис. 1 представлены схемы испытаний для определения прочности при раздире (из [3]). В Австрии,

Бельгии, Нидерландах, Италии, Финляндии и Скандинавских странах наибольшее распространение имеет метод «лапки» (рис. 1, б); во Франции и Швейцарии – «маятниковый» метод (рис. 1, в); в ФРГ – метод «лапки», а также метод «трапеции» (рис. 1, г). Методы «лапки», «язычка» и «маятниковый» основаны на одном и том же принципе: усилия прикладываются перпендикулярно к нитям ткани, прочность которых определяется; различие состоит лишь в том, что в методе «язычка» раздир ткани производится по двум симметрично расположенным линиям, а в «маятниковом» методе – при большой скорости перемещения захвата. В отличие от этих методов при испытаниях по методу «трапеции» нити, прочность которых оценивается, располагаются параллельно направлению раздирающего усилия [3].

Зарубежные стандарты, описывающие данный вид исследования, представлены следующими документами: BS EN 1875-3:1998; BS EN ISO 4674-1:2003; ASTM D751-06; ASTM D2261-13.

Исследования поведения материала при раздирающей нагрузке были выполнены во многих работах. Например, в [4] исследовано влияние покрытия и типа ткацкого переплетения на прочность материала при раздире. Рассматривалось несколько типов переплете-

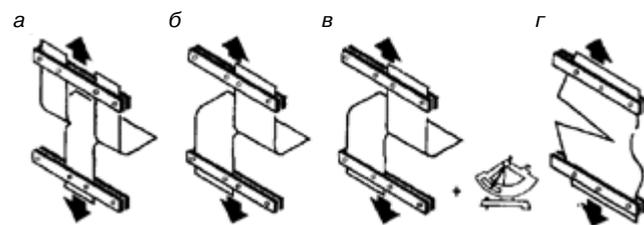


Рис. 1. Различные методы испытаний для определения прочности при раздире (рис. из [3]): а – метод «язычка»; б – метод «лапки»; в – маятниковый метод; г – метод «трапеции»

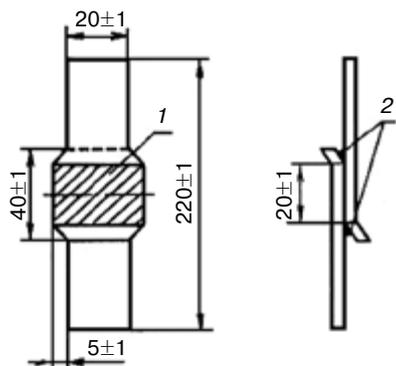


Рис. 2. Образец для испытания сварного шва на сдвиг (из ГОСТ 29151–91): 1 – сварной шов, 2 – выпрессовка

ния: полотняное, саржевое и рогожка 2×2. Выявлено, что самая высокая прочность у переплетения рогожка 2×2, самая низкая – у полотняного. В испытаниях материала без покрытия прочность на раздир у полотняного переплетения уменьшилась всего на 25%, у саржевого – на 60% и у рогожки 2×2 – на 70%. Таким образом, было замечено, что у переплетения рогожка 2×2 самая большая зависимость прочности материала на раздир от покрытия. Также выявлено, что у саржевого переплетения прочность на раздир в направлении утка меньше, чем в направлении основы. Это объясняется тем обстоятельством, что нити в направлении основы более тщательно сцеплены с покрытием, чем нити утка, в связи с технологическими особенностями производства материала.

#### Испытания на стойкость к низким температурам

Для исследования стойкости технических тканей с покрытием к низкой температуре существует достаточно большое количество различных испытаний. Например, отечественный нормативный документ ГОСТ 15162–82 «Кожа искусственная и синтетическая и пленочные материалы. Методы определения морозостойкости в статических условиях» определяет следующие испытания на морозостойкость в статических условиях:

- метод определения морозостойкости искусственной и синтетической кожи и полимерных пленочных материалов сдавливанием образца, сложенного петлей;
- метод определения морозостойкости искусственной кожи протаскиванием образца, сложенного петлей, через щель приспособления;
- метод испытания искусственной кожи на изгиб при низкой температуре.

Существует еще ряд стандартов: ГОСТ 20876–75 «Кожа искусственная. Метод определения морозостойкости в динамических условиях»; ГОСТ 28789–90 «Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Испытание на изгиб при низкой температуре». Все исследования носят схожий характер – изгиб материала при низкой температуре, которому образец подвергается с помощью специального оборудования. Европейские стандарты представлены – ISO 4675:1990; BS EN 1876-1:1998; DIN EN 1876-2–1998. Американский стандарт – ASTM D2136–02.

Методики, приведенные в данных нормативных документах, не могут быть в полной мере отнесены к стойкости материала при низкой температуре в реальных условиях работы конструкций и сооружений. Единственные возможные случаи для данной оценки – транспортировка, складирование и монтаж при низкой температуре. Для правильной оценки стойкости технической ткани с покрытием необходимо откорректиро-

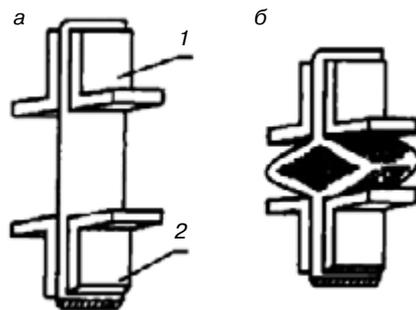


Рис. 3. Испытания технической ткани с покрытием на устойчивость к многократному изгибу (рис. из [2]): а – положение испытуемого образца при раздвинутых зажимах; б – положение испытуемого образца при сдвинутых зажимах; 1 – неподвижный зажим; 2 – подвижный зажим

вать методики с учетом реальной работы материала в мягких оболочечных конструкциях.

#### Испытания на прочность швов

Несомненно, важным показателем является результат испытания на прочность швов, соединяющих полотна ткани. В результате сложного напряженно-деформированного состояния и возможности некачественного исполнения соединения часто разрушение мягких оболочечных конструкций начинается именно с них.

Отечественный нормативный документ для оценки несущей способности швов в технических тканях с покрытием – ГОСТ 29151–91 «Мате-

риалы тентовые с поливинилхлоридным покрытием для автотранспорта. Общие технические условия». Согласно данному документу сварные швы проверяют на сдвиг. Сварку производят высокочастотной установкой, величина нахлеста (длина) для испытания на сдвиг принимается 40 мм. Соединение образцов производят изнаночной стороной одного материала на лицевую сторону другого. Из сваренных проб вырезают в продольном и поперечном направлениях строго по направлению нитей не менее трех проб размером 200×20 мм и шириной в зоне шва 30 мм, как показано на рис. 2.

Пробу сварного шва закрепляют в захваты разрывной машины так, чтобы расстояние между захватами равнялось 100 мм, а шов располагался на равных расстояниях от обоих захватов. Исследования проводят при скорости перемещения подвижного зажима 100 мм/мин. Испытания проводят на разрывной машине в продольном и поперечном направлениях образца и записывают среднее арифметическое значение максимальных нагрузок, при которых происходит разрушение материала.

Для исследования материалов и швов в двухосном напряженном состоянии, а также на длительную прочность в Научно-исследовательском институте резиновой промышленности (НИИРП) (г. Сергиев Посад) была отработана конструкция объемных образцов в форме цилиндра и создана конструкция стенда, обеспечивающая соблюдение правил техники безопасности при разрушении образца. Также в работе [5] были исследованы соединения пневматических конструкций. В частности, были проведены широкие теоретические и экспериментальные исследования шитых и клепрошитых швов.

В европейском стандарте BS EN ISO 1421:1998 при одноосном растяжении определяется зависимость прочности шва от его ширины, прочность шва при нормальной температуре (23°C) и прочность шва при температуре -20°C и +70°C. Также европейские стандарты для оценки прочности швов: BS EN ISO 13935-1:2014; BS EN ISO 13935-2:2014. Американские нормативные документы, регламентирующие данный вид исследования, представлены стандартами ASTM D751-06 и ASTM D1683.

#### Испытания на адгезионную прочность связи между слоями материала

Согласно ГОСТ 6768–75 «Резина и прорезиненная ткань. Метод определения прочности связи между слоями при расслоении», соответствующему стандарту ISO 2411:2000, определяется сила, необходимая для отделения слоев образца шириной 25 мм, в пересчете на 1 см. Скорость перемещения подвижного зажима испытательной машины – 50 мм/мин, также допускается 100 мм/мин. Производят расслоение образцов на участ-

ке не менее 100 мм. Для предотвращения растяжения материала при испытании рекомендуется к ее нерасслаиваемой поверхности приклеить дополнительную ткань. Нормативные документы устанавливают метод определения прочности связи между слоями покрытие–покрытие, покрытие–текстильная основа.

Зарубежные стандарты, регламентирующие данное исследование, представлены следующими документами: ASTM D751-06; ISO 2411:2000; ISO 4637:1979; BS 3424-7:1982.

**Испытания, моделирующие процессы повреждения тканей**

Нормативный документ ГОСТ 28787-90 «Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение прочности на прорыв», соответствующий двум европейским стандартам BS ISO 3303-1:2012, BS ISO 3303-2:2012, устанавливает два метода определения прочности на прорыв:

- с использованием разрывной машины с кольцевым зажимом и стальным шаром;
- с использованием разрывной машины с гидравлическим приводом и диафрагмой.

В данном нормативном документе описаны все необходимые процедуры по отбору и подготовке образцов, испытательному оборудованию, проведению и протоколу испытаний. В результате экспериментов находят прорывающее давление, которое является прочностью на прорыв технической ткани с покрытием.

Зарубежные нормативные документы представлены следующими стандартами: BS ISO 3303-1:2012; BS ISO 3303-2:2012; ISO 4646:1989; BS 3424-38:1998; DIN EN 12332-1-1998; DIN EN 12332-2-2003.

**Испытания, связанные с оценкой герметичности**

Важной характеристикой технической ткани с покрытием является непроницаемость для жидкостей и газов. Оценка данного параметра с помощью отечественных нормативных документов может осуществляться несколькими методами.

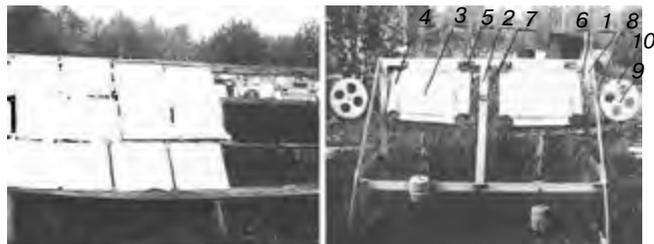
Согласно ГОСТ 413-91 «Ткани с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение водонепроницаемости» исследования могут проводиться с помощью двух схем – низкого и высокого давления, каждая из которых подразделяется на метод динамического и статического постоянного давления. При динамическом методе увеличивают давление с постоянной или со скоростью 10 м/с до появления первой капли воды на обратной стороне образца. При статическом методе постоянного давления уровень воды поднимают до заданной высоты и регистрируют время до появления первой капли воды на обратной стороне образца.

Другой ГОСТ 22944-78 «Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения водонепроницаемости» регламентирует два метода – определение водонепроницаемости под давлением и метод Кошеля. Другие методы оценки герметичности описаны в ГОСТ 29063-91, ГОСТ 8973-77, ГОСТ 22900-78, ГОСТ 27896-88, ГОСТ Р 12.4.202-99 ССБТ, ГОСТ 12.4.218-2002 ССБТ.

Зарубежные стандарты представлены следующими документами: ASTM D751-06; BS EN 12759:2001; BS EN 1734:1997; BS ISO 7229:1997; ISO 6450:2005; ISO 1420:2016; BS 3424-34:1992; BS 3424-16:1995.

**Стойкость технической ткани с покрытием к истираемости**

Отечественные нормативные документы, описывающие испытания материала на истираемость, следующие: ГОСТ 8975-75, ГОСТ 28936-91 и ГОСТ 29316-92. Европейские стандарты, регламентирующие данный вид



**Рис. 4.** Стенд для естественного старения образцов технических тканей с покрытием (рис. из [2]): 1 – станина; 2 – верхняя рама; 3 – образец; 4 – петля; 5 – штанга из легкого металлического сплава; 6 – проводочная траверса; 7 – крюк; 8 – гибкая тяга; 9 – ось шкива; 10 – шкив

исследования: BS 3424-24:1990; BS EN ISO 5470-1:1999; BS EN ISO 5470-2:2003.

Испытания могут быть выполнены с помощью оборудования Тейбера или Мартидейла. В обоих приборах есть истирающая головка с различной шероховатостью, которая движется по материалу под различным давлением. Также существует вариант истирания образца шлифовальной шкуркой при заданном давлении с помощью прибора типа ИКИ-М.

**Устойчивость к многократному изгибу**

Отечественный нормативный документ ГОСТ 8978-2003 «Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения устойчивости к многократному изгибу», соответствующий международному стандарту DIN EN ISO 7854-1997, описывает определение стойкости технической ткани с покрытием к многократному изгибу. Образец необходимо закрепить так, как показано на рис. 3. При данном исследовании обычно используют прибор типа МИРТ или аналогичный ему.

Испытание проводят следующим образом: прямоугольные образцы размерами 90×60 мм складывают вдвое лицевой стороной наружу и устанавливают в зажимах прибора на расстоянии не менее шестикратной толщины материала. Включают прибор и периодически останавливают, осматривая поверхность образцов на появление дефектов. В нормативной документации устанавливают вид разрушения материала, до появления которых считают, что образец успешно прошел испытание.

Зарубежные нормативные стандарты для проведения исследования устойчивости материала к многократному изгибу: DIN EN 1876-2-1998; DIN EN ISO 7854-1997; ASTM D2137-11; ISO 32100:2010; BS 3424-9:1990.

**Естественное старение материала**

Обычно исследование естественного старения материала проводится в напряженном состоянии на специальных рамных стендах (рис. 4) в естественных климатических условиях. Рабочая поверхность направлена на юг, и ее наклон к горизонту составляет 45°. Техническая ткань с покрытием подвергается двухосному напряженно-деформированному состоянию, как правило, с соотношением нагрузки по основе и утку 1:1. Значение приложенной нагрузки и ее соотношение в направлении основы и утка определяются индивидуально, в зависимости от вида материала и конструкции, где применена техническая ткань с покрытием. Также возможен вариант исследования естественного старения материала в ненапряженном состоянии.

С установленной периодичностью проводят визуальный осмотр образцов с целью выявления качественных изменений, таких как появление первых трещин, озонное растрескивание, изменение цвета и др.

После определенного количества времени (обычно каждые пять лет) несколько образцов материала снимают со стендов и подвергают испытаниям. Полученные

прочностные характеристики сравнивают с первоначальными с целью выявления их снижения. Далее результаты представляют с помощью различных графиков, таблиц и других наглядных инструментов.

К отечественным нормативным документам, регламентирующим и описывающим испытания на естественное старение материала, можно отнести ГОСТ 9.066–76 ЕСЗКС «Резины. Метод испытаний на стойкость к старению при воздействии естественных климатических факторов». В практике европейских стандартов используется ISO 3011:1997.

В работе [6] проводились испытания на естественное старение материала в течение 10 лет в различных районах Германии, Австрии, Италии и США. Техническая ткань с покрытием имела разную толщину покрытия и плотность. Найдены и построены зависимости падения предельной прочности на растяжение и раздир от времени при действии атмосферных явлений. Один из основных сделанных выводов говорит о том, что одна только ультрафиолетовая радиация не является основанием для оценки долговечности материала.

#### **Ускоренное старение материала**

Ускоренные испытания на старение материала могут заменить длительные натурные эксперименты на естественное старение. Данный вид исследования позволяет подтвердить установленные техническими требованиями гарантийные сроки эксплуатации технической ткани с покрытием или установить сроки службы у новых материалов.

В ходе работы А.М. Сулейманова [7] разработана методика и установка (рис. 5) ускоренных испытаний для резиноканевых материалов, которая была внедрена в НИИРП. Выявленный механизм старения и разрушения материалов по ускоренным испытаниям при воздействии искусственных климатических факторов был подтвержден данными естественного старения технической ткани с покрытием в течение пяти лет.

Из-за отсутствия отечественных нормативных документов, регламентирующих методики проведения испытаний на ускоренное старение технических тканей с покрытием, приходится использовать нормативные документы, описывающие данный вид исследования для похожих материалов (резина, полимеры и др.), такие как: ГОСТ 9.024–74 ЕСЗКС; ГОСТ 9.026–74 ЕСЗКС; ГОСТ 9.707–81 ЕСЗКС; ГОСТ Р 2.4.201–99 ССБТ.

Зарубежные стандарты для испытания технических тканей с покрытием на ускоренное старение в отличие от отечественных присутствуют. В следующих нормативных документах собрана вся необходимая информация для проведения этого исследования – ISO 1419:1995, DIN EN 12280-1–1998, BS EN 12280-3:2002, ASTM D751–06.

#### **Пожаробезопасность технической ткани с покрытием**

Методы определения пожаробезопасности технических тканей с покрытиями различны, так как они зависят от назначения материала в сооружении. Достаточно большое количество нормативных отечественных стандартов ГОСТ 30244–94, ГОСТ 30402–96, ГОСТ Р 51032–97, ГОСТ 30403–2012 и др. существует для различных испытаний материалов и их классификации. Однако подходить к оценке технических тканей с покрытием следует всегда

индивидуально. Нормативные документы, которые могут быть полезны при оценке пожаробезопасности (или огнестойкости) технических тканей с покрытием: ГОСТ Р 12.4.200–99 ССБТ, ГОСТ Р ИСО 15025–2007 ССБТ, ГОСТ Р ИСО 6941–99 ССБТ, ГОСТ 24632–81, ГОСТ 12.1.044–89 ССБТ.

Зарубежные стандарты представлены следующими документами, регламентирующими различные испытания и классификацию материала: DIN 4102–1, DIN EN 13501-1–2010, ISO 1182:2010, ISO 1716:2010(E), DIN EN 13823–2015, BS EN ISO 11925-2:2010, ASTM E119-16a, ASTM D2863-13, ASTM E84-16, ASTM E108-11 и др.

Технические ткани с покрытием, эксплуатирующиеся в замкнутых пространствах в местах скопления людей, должны оцениваться по дымообразованию при горении и образовании токсичных веществ.

Например, в 60–70-х гг. XX в. проводилось много натуральных экспериментов по имитации пожара в воздухопорных сооружениях. Огневые испытания проводились в СССР, ГДР, Англии, Швеции, Финляндии, Японии и США. Наибольший интерес представляли натурные испытания крупнейшего по тем временам сооружения – павильона США на ЭКСПО-70 (размеры в плане 136×78 м) с системой из стальных тросов 6×6 м, к которым пришнурована оболочка. Были получены ценные результаты по дымообразованию и времени прогорания материала, а также поведения всей конструкции в целом во время пожара. Разрушение оболочки началось с расхождения сварных швов – наименее жаростойкой ее части [8].

В настоящее время все чаще разрабатывают и используют математические модели пожара и его распространения, например [9].

#### **Специальные виды испытаний**

Выделяют специальные виды испытаний, которые, как правило, проводятся при разработке новых технических тканей с покрытием или конструкций на их основе. Часто к материалу и сооружению предъявляются специфические требования, исполнение которых требует разработки новых методик испытаний. Нормативные документы, регламентирующие методики проведения таких исследований, отсутствуют.

Интересный натурный эксперимент был описан в работе [10]. В районах, где возникают сильные ветра, возможно попадание различных обломков в воздухо-

опорные сооружения, которые все чаще используются в строительстве. Предметы, на большой скорости прорывающие материал, могут представлять реальную угрозу людям, находящимся в помещении. Поэтому важно было исследовать стойкость технической ткани с покрытием к повреждаемости (проколу), моделируя реальные скорости предметов при сильных ветрах. Один из многочисленных выводов подтверждает тот факт, что материал более подвержен повреждению в опорной зоне или близкой к ней.

#### **Заключение**

Почти невыполнимой задачей является учет всех нагрузок и факторов, действующих на материал в конструкции, в натуральных испытаниях. Это объясняется следующими причинами:



Рис. 5. Внешний вид установки ускоренного старения материалов в двухосном напряженном состоянии (рис. из [7])

- сложностью создания испытательного оборудования, учитывающего все воздействия;
- высокой стоимостью исследований при создании натурной модели конструкции и имитации реальных условий эксплуатации материала в сооружении;
- при оценке долговечности технической ткани с покрытием необходимо проводить длительные по вре-

**Список литературы**

1. Кустов А.А., Ибрагимов А.М. Методики и результаты натуральных испытаний технических тканей с покрытием. Ч. 1. Обзор проведенных исследований // *Строительные материалы*. 2016. № 11. С. 41–45.
2. Шпаков В.П. Ткани с эластомерным покрытием для мягких оболочечных конструкций. Сергиев Посад: ООО ИД «Весь Сергиев Посад», 2012. 304 с.
3. Ермолов В.В., Бэрд У.У., Бубнер Э. Пневматические строительные конструкции. М.: Стройиздат, 1983. 439 с.
4. Norman A. et al. A study of tearing in coated cotton fabrics // *Coat. fibrous Mater.* 1971. Vol. 1. No. 4, pp. 4–17.
5. Шпаков В.П. Исследование соединений пневматических конструкций. Дисс... канд. техн. наук. Москва, 1976.
6. Eichert U. Residual Tensile and Tear Strength of Coated Industrial Fabrics Determined in Long-Time Tests in Natural Weather Conditions // *J. Coat. Fabr.* 1994. Vol. 23. No. 4, pp. 311–327.
7. Сулейманов А.М. Экспериментально-теоретические основы прогнозирования и повышения долговечности материалов мягких оболочек строительного назначения. Дисс... д-ра техн. наук. Казань. 2006. 352 с.
8. Ермолов В.В. Воздухоопорные здания и сооружения. Москва: Стройиздат, 1980. 304 с.
9. Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Соловьев Р.А., Мурзин Н.В., Тараканов Д.В., Лапшин С.С. Математическая модель развития пожара в системе помещений // *Вестник МГСУ*. 2013. № 4. С. 121–128.
10. Chen W. et al. Experimental investigations of fabric material against projectile impacts // *Constr. Build. Mater.* 2016. Vol. 104, pp. 142–153.

мени исследования, что ведет к большим временным и денежным затратам.

Выходом из сложившейся ситуации является численное моделирование испытаний материала в программных комплексах с учетом основных нагрузок и факторов, действующих на техническую ткань с покрытием во время эксплуатации сооружения.

**References**

1. Kustov A.A., Ibragimov A. M. Procedures and results of full-scale tests of technical fabrics with coating. Part 1. Review of conducted studies. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 11, pp. 41–45. (In Russian)
2. Shpakov V.P. Tkani s elastomernym pokrytiem dlya myagkikh obolochnykh konstruktсий [Fabrics with an elastomeric covering for membrane structures]. Sergiyev Posad: LLC All Sergiyev Posad Publishing house. 2012. 304 p.
3. Ermolov V.V., Bird W.W., Bubner E. Pnevmaticheskie stroitel'nye konstruktсий [Pneumatic building structures]. Moscow: Stroyizdat. 1983. 439 p.
4. Norman A. et al. A study of tearing in coated cotton fabrics. *Coat. fibrous Mater.* 1971. Vol. 1. No. 4, pp. 4–17.
5. Shpakov V.P. Research of connections of pneumatic structures. Cand. Diss. (Engineering). Moscow, 1976. (In Russian).
6. Eichert U. Residual tensile and tear strength of coated industrial fabrics determined in long-time tests in natural weather conditions. *J. Coat. Fabr.* 1994. Vol. 23. No. 4, pp. 311–327.
7. Suleymanov A.M. Experimental and theoretical foundations of forecasting and enhance the durability of materials soft shells of building purpose. Doctor Diss. (Engineering). Kazan. 2006. 352 p. (In Russian).
8. Ermolov V.V. Vozdukhoopornye zdaniya i sooruzheniya [Compressed air-supported buildings and constructions]. Moscow: Stroyizdat. 1980. 304 p.
9. Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Solov'ev R.A., Murzin N.V., Tarakanov D.V., Lapshin S.S. Mathematical model of fire escalation in adjacent rooms. *Vestnik MGSU*. 2013. No. 4, pp. 121–128. (In Russian).
10. Chen W. et al. Experimental investigations of fabric material against projectile impacts. *Constr. Build. Mater.* 2016. Vol. 104, pp. 142–153.

## Указатель статей, опубликованных в журнале «Строительные материалы»® в 2016 г.\*

### Материалы и конструкции

- Абдрахманова Л.А., Исламов А.М., Фахрутдинова В.Х.** Вспененные композиционные материалы на основе поливинилхлорида ..... № 3. С. 82
- Александров А.С.** Исследование пластического деформирования дискретных материалов при воздействии циклических нагрузок и определении параметров математических моделей ..... № 10. С. 27
- Александров А.С.** Обобщающая модель пластического деформирования дискретных материалов дорожных конструкций при воздействии циклических нагрузок ..... № 5. С. 27
- Анисимова С.В., Коршунов А.Е., Емельянов Д.Н.** Свойства гипсовых суспензий в присутствии водорастворимых акриловых полимеров ..... № 7. С. 25
- Антипина С.А., Змановский С.В.** Исследование влияния порошкового и гранулированного алюминиевого газообразователя на свойства ячеистого бетона ..... № 4. С. 88
- Барабаш Д.Е., Попов А.Н., Масалькин А.Н.** Обоснование типа асфальтобетона в слоях наращивания аэродромных сборных покрытий ..... № 5. С. 31
- Бурьянов А.Ф., Кривенко В.В., Жуков А.Д., Моисеенко К.С., Асаматдинов М.О.** Имитации мрамора ..... № 4. С. 102
- Вавренюк С.В., Аврамов В.А., Вавренюк В.Г., Красицкая С.Г., Фарафонов А.Э.** Твердофазное механохимическое модифицирование портландцементов ..... № 11. С. 34
- Вайсера С.С., Пучка О.В., Лесовик В.С., Бессонов И.В., Сергеев С.В.** Эффективные акустические стеклокомпозиты ..... № 6. С. 28
- Валиев Ш.Н., Кокоева Н.Е., Кочетков А.В., Янковский Л.В.** Моделирование риска возникновения дорожно-транспортных происшествий с учетом вариативности макрошероховатости покрытий проезжей части на автомобильных дорогах и мостовых сооружениях ..... № 5. С. 22
- Винниченко В.И., Рязанов А.Н., Вищенко Н.Ю.** Термодинамическая оценка условий образования первичных клинкерных минералов при обжиге доломитсодержащей шихты ..... № 10. С. 76
- Войтович В.А., Хряпченкова И.Н.** Нанобетон в строительстве ..... № 9. С. 73
- Вылегжанин В.П., Батаев Д.К.-С., Газиев М.А., Гринфельд Г.И.** Учет влияния карбонизации при расчете длительной деформативности ячеисто-бетонных изгибаемых конструкций ..... № 9. С. 47
- Вылегжанин В.П., Пинскер В.А., Гринфельд Г.И.** Теоретические и экспериментальные обоснования расчета усилий при вырыве анкеров из газобетона ..... № 4. С. 92
- Гагарин В.Г., Козлов В.В., Лушин К.И., Плющенко Н.Ю.** Учет теплопроводных включений и вентилируемой прослойки при расчетах сопротивления теплопередаче стены с навесной фасадной системой (НФС) ... № 6. С. 32
- Галеев И.А.** Фильтрация масла на прессах для производства силикатного кирпича ..... № 9. С. 14
- Гальцева Н.А., Бурьянов А.Ф.** Закладочные смеси на основе синтетического ангидрида из отходов промышленности ..... № 7. С. 33
- Гипсоволокнистый КНАУФ-суперлист** – отделочный материал для серьезных задач ..... № 8. С. 58
- Гладкий бесшовный фасад** – надежная защита утеплителя от воздействия дождя и ветра ..... № 5. С. 16
- Гончарова М.А., Ивашкин А.Н., Симбаев В.В.** Разработка оптимальных составов силикатных бетонов с использованием местных сырьевых ресурсов . . № 9. С. 6
- Гончарова М.А., Ткачева И.А.** Практический опыт применения щебеночно-мастичного асфальтобетона с использованием активированного минерального порошка ..... № 10. С. 84
- Горбунов Н.И., Сирина Т.П., Гончаренко Е.Г., Викторов В.В., Шацлло В.В., Дрючевская Л.Н.** Использование техногенных растворов от переработки ванадий-, марганецсодержащего сырья в производстве строительных материалов ..... № 1–2. С. 110
- Гордина А.Ф., Яковлев Г.И., Поляских И.С., Керене Я., Фишер Х.-Б., Рахимова Н.Р., Бурьянов А.Ф.** Гипсовые композиции с комплексными модификаторами структуры ..... № 1–2. С. 90
- Гришина А.Н., Королев Е.В.** Особенности химического состава продуктов осаждения гидросиликатов натрия ..... № 11. С. 37
- Грунтовки КНАУФ:** грамотная подготовка основания – залог успеха отделочных работ ..... № 7. С. 30
- Гулабянц Л.А.** Инженерный метод прогностической оценки концентрации радона в проектируемом здании ..... № 6. С. 50
- Гурьева В.А., Белова Т.К.** Влияние дисперсного армирования модифицированным базальтовым микроволокном на истираемость цементных растворов для устройства полов ..... № 1–2. С. 104
- Деркач В.Н., Демчук О.Г.** Несущая способность при сжатии каменных стен из крупноформатных силикатных блоков ..... № 9. С. 26
- Дроздук Т.А., Айзенштадт А.М., Фролова М.А., Носуля А.А.** Оценка активности минерального связующего на основе сапонитсодержащего материала ..... № 9. С. 76
- Евельсон Л.И., Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Ротарь Д.В., Кузнецов С.С., Ефремочкин Р.А.** Изучение статистической устойчивости результатов фрактального моделирования на примере структуры наномодифицированного бетона ..... № 1–2. С. 48
- Езерский В.А., Кузнецова Н.В., Барина О.С.** Модификация цементных смесей с использованием отходов производства цементно-стружечных плит ..... № 6. С. 47
- Ещенко А.И., Печеный Б.Г., Курбатов В.Л., Асельдеров Б.С., Шиман А.** Термопластики для разметки асфальтобетонных и цементобетонных покрытий ..... № 7. С. 58
- Желдаков Д.Ю., Фролов А.А., Иванов С.Ю.** Исследования прочности кладки стен в здании Кадашевских бань ..... № 6. С. 55
- Жерновский И.В., Кожухова Н.И., Череватова А.В., Рахимбаев И.Ш., Жерновская И.В.** Новые данные о наноразмерном фазообразовании в вяжущей системе «гипс — известь» ..... № 7. С. 9
- Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Бессонов И.В., Зеленщиков И.Б.** Методология оценки свойств теплоизоляционных изделий ..... № 6. С. 25

\* В указатель не вошли статьи, опубликованные в данном номере. Содержание номера см. на с. 1–3.

- Ибрагимов А.М., Титунин А.А., Гнедина Л.Ю., Лабутин А.Н.** Полистиролбетон в промышленном и гражданском строительстве . . . . . № 10. С. 21
- Изотов В.С., Мухаметрахимов Р.Х., Галаудинов А.Р.** Комплексная добавка для повышения эффективности гипсоцементно-пуццоланового вяжущего . . . . . № 8. С. 70
- Иноземцев А.С., Королев Е.В.** Анализ кинетики деструкции наномодифицированных высокопрочных легких бетонов методом акустической эмиссии. . . . . № 1–2. С. 38
- Интеллектуальны ли строительные композиты? (В порядке обсуждения)** . . . . . № 5. С. 48
- Калашников В.И.** Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего. Часть 1. Изменение составов и прочности бетонов . . . . . № 1–2. С. 96
- Кара-Сал Б.К., Сат Д.Х., Серен Ш.В., Монгуш Д.С.** Стеновая керамика из нетрадиционных сырьевых материалов. . . . . № 4. С. 33
- Касторных Л.И., Трищенко И.В., Гикало М.А.** Эффективность системы рециклинга на заводах товарного бетона и сборного железобетона . . . . . № 3. С. 36
- Касумов А.Ш., Величко Е.Г.** Разработка рациональных параметров компонентов состава пенобетона . . . . . № 8. С. 52
- Кетов А.А.** Перспективы пеностекла в жилищном строительстве . . . . . № 3. С. 79
- Кетов А.А., Кетов П.А., Красновских М.П.** Исследование экологической опасности теплоизоляционного материала эковата . . . . . № 5. С. 78
- Килюшева Н.В., Данилов В.Е., Айзенштадт А.М.** Теплоизоляционный материал из коры сосны и ее экстракта . . . . . № 11. С. 48
- Киреева Э.И., Беляев В.С.** Конструкции несущих трехслойных наружных стен с облицовкой кирпичом в гражданских зданиях повышенной этажности. . . . . № 4. С. 64
- Киселев И.Я.** Метод ускоренного определения равновесной сорбционной влажности легких и ячеистых бетонов . . . . . № 6. С. 12
- Ковригин А.Г., Маслов А.В.** Композитные гибкие связи в крупнопанельном домостроении . . . . . № 3. С. 25
- Кожухова Н.И., Чижов Р.В., Жерновский И.В., Логанина В.И., Строкова В.В.** Особенности структурообразования геополимерной вяжущей системы на основе перлита с использованием различных видов щелочного активатора. . . . . № 3. С. 61
- Кокшаров С.А., Базанов А.В., Федосов С.В., Акулова М.В., Слизнева Т.Е.** Анализ влияния дисперсности хлорида кальция в механоактивированном растворе на структуру и свойства цементного камня . . . . . № 1–2. С. 55
- Колчеданцев Л.М., Ступакова О.Г., Мустафин Р.Р.** Совместное влияние повышенной температуры и вида суперпластификатора на удобоукладываемость бетонных смесей. . . . . № 7. С. 36
- Компания КНАУФ** вывела на российский рынок новый уникальный продукт. . . . . № 9. С. 32
- Корнилов Т.А., Кычкин И.Р.** Наружные ограждающие конструкции с применением автоклавного пенобетона для каркасно-монолитных зданий Якутска . . . . . № 6. С. 15
- Корнопольцев В.Н., Могнонов Д.М., Аюрова О.Ж.** Антифрикционные металлополимерные материалы для строительных машин, механизмов и транспорта, эксплуатируемых в условиях российского Севера и Арктики . . . . . № 3. С. 65
- Королев Е.В., Гришина А.Н., Вдовин М.И., Альбакасов А.И.** Метод анализа кинетики поглощения. Часть 1. Теоретические основы . . . . . № 5. С. 43
- Котляр А.В., Талпа Б.В., Лазарева Я.В.** Особенности химического состава аргиллитоподобных глин и аргиллитов . . . . . № 4. С. 10
- Котляр В.Д., Лапунова К.А.** Особенности физико-химических преобразований при обжиге опоконидного сырья . . . . . № 5. С. 40
- Кочетков А.В., Валиев Ш.Н., Андронов С.Ю., Климов Д.А.** Рекомендации по определению теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов. . . . . № 6. С. 74
- Кочетков А.В., Валиев Ш.Н., Андронов С.Ю., Климов Д.А.** Методы определения теплофизических свойств дорожно-строительных материалов и грунтов. . . . . № 9. С. 79
- Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я., Черных Т.Н., Орлов А.А., Шуляков К.В.** Современные суперпластификаторы для бетонов, особенности их применения и эффективность. . . . . № 11. С. 21
- Красникова Н.М., Кашапов Р.Р., Морозов Н.М., Хозин В.Г.** Структурообразование цементного камня с полифункциональной добавкой . . . . . № 5. С. 66
- Кривобородов Ю.Р., Еленова А.А.** Применение микродисперсных добавок для ускорения твердения цемента . . . . . № 9. С. 65
- Кролевецкий Д.В., Грызунов Р.Н.** Минералы группы Сибелко, рекомендуемые для производства керамического кирпича . . . . . № 4. С. 22
- Крылов А.А., Вахнина Т.Н.** Разработка древесно-полимерного композита строительного назначения с добавкой вторичного полиэтилентерефталата. . . . . № 7. С. 67
- Кузнецова Г.В.** Гранулометрический состав мелкодисперсных золоотходов и его влияние на свойства прессованных изделий . . . . . № 11. С. 51
- Кузнецова Г.В.** Известь и ее влияние на техническое перевооружение заводов силикатного кирпича. . . . . № 9. С. 9
- Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Клоков В.В., Зигангараева С.Р.** Силикатный кирпич и автоклавный газобетон с использованием отходов собственного производства. . . . . № 4. С. 76
- Кузнецова Н.В., Яковлев Д.А., Селезнев А.Д.** Проектирование составов смесей цементных теплоизоляционных материалов с использованием древесных отходов . . . . . № 6. С. 44
- Куприянов В.Н., Петров А.С.** Влажностное состояние ограждающих конструкций с учетом переменного значения паропроницаемости материалов. . . . . № 6. С. 40
- Кустов А.А., Ибрагимов А.М.** Методики и результаты натуральных испытаний технических тканей с покрытием. Часть 1. Обзор проведенных исследований. . . . . № 11. С. 41
- Лекарев И.Н., Сидоров А.Г., Мошка И.Н.** Серия домов АБД-9000: внедрение ВМ-технологий на современном производстве. . . . . № 3. С. 22
- Леонович С.Н., Полейко Н.Л.** Эксплуатационные характеристики бетона на заполнителе из осадочных горных пород . . . . . № 8. С. 66
- Леонтьев С.В., Голубев В.А., Шаманов В.А., Курзанов А.Д., Яковлев Г.И., Хазеев Д.Р.** Модификация структуры теплоизоляционного автоклавного газобетона дисперсией многослойных углеродных нанотрубок. . . . . № 1–2. С. 76
- Ломакина Л.Н., Хабабудинова Н.Б., Крамар Л.Я.** Лаборатория нанотехнологий цементных систем им. профессоров А.Ф. Полака и Н.Х. Каримова УГНТУ: некоторые результаты и перспективы развития . . . . . № 10. С. 38

- Лукаш А.А.** Клееный арболит из древесины мягких лиственных пород ..... № 8. С. 63
- Лукаш А.А., Лукутцова Н.П.** Перспективность производства строительных материалов из древесины с ядровой гнилью ..... № 9. С. 85
- Лукин Е.Г., Рыгаев Д.В., Метелица Р.В., Нейман С.М., Соболев Л.В.** Силикатная краска для хризотилцементных изделий из отечественного сырья ..... № 7. С. 49
- Матар П.Ю., Петропавловская В.Б., Баркая Т.Р., Байсари М.Ф., Эль-Хасанийе Л.С.** Пустотелые стеновые бетонные блоки с рециклированными заполнителями и стеклом ..... № 3. С. 69
- Матвеева Л.Ю., Синайский А.Г., Андреева Е.Е., Румянцева А.В., Кука П.Б.** Демпферные гидроизолирующие материалы серии «Гидрофор» на основе полиизоциануретана ..... № 7. С. 63
- Михеев Д.В.** Актуальные вопросы развития стройиндустрии и промышленности строительных материалов ..... № 6. С. 4
- Модификаторы бетона: история вопроса и новейшие разработки.** ..... № 4. С. 82
- Моргун В.Н., Моргун Л.В., Виснап А.В., Богатина А.Ю.** О свойствах материалов, соответствующих требованиям крупнопанельного домостроения ..... № 10. С. 24
- Муртазаев С.-А.Ю., Саламанова М.Ш., Бисултанов Р.Г., Муртазаева Т.С.-А.** Высококачественные модифицированные бетоны с использованием вяжущего на основе реакционно-активного минерального компонента ..... № 8. С. 74
- Нелюбова В.В., Подгорный И.И., Строкова В.В., Пальшина Ю.В.** Автоклавный газобетон с наноструктурированным модификатором алюмосиликатного состава ..... № 4. С. 72
- Несветаев Г.В., Кардунян Г.С.** О рациональном применении добавок в бетоны на заводах крупнопанельного домостроения ..... № 3. С. 31
- Нижегородов А.И.** Экспериментальное определение коэффициентов трения некоторых потенциально термоактивных минералов ..... № 11. С. 63
- Низина Т.А., Пономарев А.Н., Балыков А.С.** Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок ..... № 9. С. 68
- Новиков М.В., Чернышов Е.М., Славчева Г.С.** Механические свойства цементного поризованного бетона при одноосном сжатии с учетом закономерностей его ползучести ..... № 11. С. 26
- Опыт дорожных строителей Канады.** ..... № 8. С. 57
- Петропавловская В.Б., Новиченкова Т.Б., Бурьянов А.Ф., Петропавловский К.С., Завалько М.Ю.** Получение гипсовых композитов, модифицированных отходом базальтового производства ..... № 7. С. 13
- Платова Р.А., Рассулов В.А., Платов Ю.Т., Аргынбаев Т.М., Стафеева З.В.** Люминесцентный контроль пуццолановой активности метакаолина ..... № 6. С. 67
- Преднапряженные пустотные плиты: история и современность.** ..... № 3. С. 16
- Прохоров С.Б.** Оптимизация производства АГБ при внедрении специализированных газообразователей марок Газобето ..... № 4. С. 80
- Пухаренко Ю.В., Черевко С.А.** Вяжущие системы на основе солевого шлака ..... № 8. С. 60
- Ройфе В.С.** Расчет распределения влаги по толщине ограждающей конструкции в натуральных условиях ..... № 6. С. 36
- Рябокоть Л.И., Беднягин С.В., Доманская И.К.** Гипсоизвестково-шлаковые вяжущие и бетоны на их основе: экспериментальная оценка долговечности ..... № 7. С. 21
- Саенко Э.Г., Корепанова В.Ф., Гринфельд Г.И.** Возможности фасадного клинкерного кирпича марки «ЛСР» в замещении импорта ..... № 4. С. 60
- Сарайкина К.А., Голубев В.А., Яковлев Г.И., Сычугов С.В., Первушин Г.Н.** Повышение коррозионной стойкости базальтового волокна в цементных бетонах ..... № 1–2. С. 27
- Сафаров К.Б., Степанова В.Ф.** Регулирование реакционной способности заполнителей и повышение сульфатостойкости бетонов путем совместного применения низкокальциевой золы-уноса и высокоактивного метакаолина ..... № 5. С. 70
- Семенов В.С., Розовская Т.А., Губский А.Ю.** Перспективы применения вторичных полиэфирных волокон для производства тепло- и звукоизоляционных материалов ..... № 6. С. 21
- Семенов В.С., Розовская Т.А., Губский А.Ю., Гареева Р.Р.** Эффективная дисперсно-армированная сухая кладочная смесь ..... № 7. С. 39
- Славчева Г.С., Чернышов Е.М.** Алгоритм конструирования структуры цементных пенобетонов по комплексу задаваемых свойств ..... № 9. С. 58
- Смирнова О.М., Андреева Е.В.** Свойства тяжелого бетона, дисперсно-армированного синтетическим микроволокном ..... № 11. С. 17
- 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 ..... № 8. С. 19
- Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И., Иванов А.И., Сырмясов В.А., Акт Д.В.** Рациональные способы массоподготовки сырья в технологии стеновой керамики компрессионного формования ..... № 4. С. 26
- Строкова В.В., Сивальнева М.Н., Жерновский И.В., Кобзев В.А., Нелюбова В.В.** Особенности механизма твердения наноструктурированного вяжущего ..... № 1–2. С. 62
- Сумин А.В., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Еременко С.А.** Пеногазобетон с наноструктурированным модификатором ..... № 1–2. С. 70
- Теплоизоляция первых и цокольных этажей.** ..... № 5. С. 20
- Терещенко И.М., Жих Б.П., Кравчук А.П.** Получение эффективных теплоизоляционных материалов на основе кремнегеля ..... № 7. С. 45
- Тихомирова И.Н., Макаров А.В.** Динамика набора прочности кремнебетона в ходе гидротермальной обработки ..... № 5. С. 74
- Токарев Ю.В., Гинчицкий Е.О., Гинчицкая Ю.Н., Гордина А.Ф., Яковлев Г.И.** Влияние комплекса добавок на свойства и структуру гипсового вяжущего ..... № 1–2. С. 84
- Толмачев С.Н., Беличенко Е.А., Бражник А.В.** Разработка технологических критериев совместимости суперпластификаторов с цементами ..... № 5. С. 60
- Тоневицкий Ю.В., Могнонов Д.М., Аюрова О.Ж., Кузнецов Ю.Н.** Модификация дорожного битума отходами производства ..... № 11. С. 59
- Угрюмов С.А., Осетров А.В.** Древесно-стружечные плиты на основе модифицированных фенолформальдегидных связующих ..... № 7. С. 74
- Умякова Н.П.** Расчет колебаний температуры в кирпичной облицовке трехслойных стен на основе почасовых параметров типового климатического года ..... № 8. С. 45
- Урханова Л.А., Буянтуев С.Л., Лхасаранов С.А., Кузнецова А.Ю.** Использование фуллеренсодержащей добавки для улучшения свойств цемента и бетона ..... № 1–2. С. 32

- Федоров П.А., Гильмутдинов Т.З., Астафуров А.А., Латыпов В.М.** Совершенствование лабораторных методов исследований долговечности бетона в агрессивных газовых и жидких средах ..... № 10. С. 42
- Федорова Г.Д., Александров Г.Н., Смагулова С.А.** К вопросу применения оксида графена в цементных системах ..... № 1–2. С. 21
- Федосов С.В., Котлов В.Г., Иванова М.А.** Некоторые особенности методов расчета стропильных конструкций с соединениями на металлических зубчатых пластинах с учетом явлений тепломассопереноса ..... № 5. С. 52
- Фирсов В.В., Татаринцева О.С., Блазнов А.Н.** Эффективность применения базальтоволокнистого утеплителя в пустотелых стеновых блоках .... № 3. С. 76
- Хасен Б.П., Вареха Ж.П., Лис С.Н.** Силикатный анкерный крепеж ..... № 1–2. С. 116
- Цветков В.Е., Пасько А.С., Тесовский А.А., Мачнева О.П., Семочкин Ю.А.** Особенности изготовления декоративных бумажно-слоистых пластиков на основе меламинаформальдегидных смол .. № 7. С. 71
- Череватова А.В., Алехин Д.А., Бурьянов А.Ф., Жерновский И.В., Кожухова Н.И.** Особенности комплексного механизма структурообразования в системе композиционного гипсокремнеземистого вяжущего ..... № 11. С. 12
- Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Баженов Ю.М.** Пенообразователи из белков микробного синтеза для производства ячеистых бетонов. .... № 9. С. 53
- Чернышов Е.М., Попов В.А., Артамонова О.В.** Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 5. Эффективное микро-, наномодифицирование систем гидротермально-синтезного твердения и структуры силикатного камня (критерии и условия) .... № 9. С. 38
- Чуйкин А.Е., Бабков В.В., Массалимов И.А.** Модифицирование цементного бетона пропиточными серосодержащими растворами ..... № 10. С. 72
- Шаггаллин Г.Ю., Гагаулли А.В., Хабабутдинова Н.Б., Ломакина Л.Н.** Оценка возможности применения в строительстве бурового шлама Республики Башкортостан ..... № 11. С. 57
- Юрьев Б.П., Гольцев В.А., Мальцев В.А., Савин В.А.** Сушка хризотиловой руды в вертикальных аппаратах шахтного типа ..... № 8. С. 80
- 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 ..... № 8. С. 25
- Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Кизиевич О., Гинчицкая Ю.Н., Тайбахтина П.А.** Влияние высолов в кирпичной кладке на разрушение отделочного полимерного покрытия ..... № 4. С. 69
- Яковлев Г.И., Плеханова Т.А., Алиев Э.В.** Магнезиальный бетон, модифицированный полифункциональной добавкой на основе сульфата кальция ..... № 7. С. 16
- Яковлев Г.И., Полянский И.С., Первушин Г.Н., Скрипюнас Г., Пудов И.А., Карпова Е.А.** Структурная модификация новообразований в цементной матрице дисперсиями углеродных нанотрубок и нанокремнеземом. .... № 1–2. С. 16
- Ярмаковский В.Н.** Физико-химические и структурно-технологические основы получения высокопрочных и высокодолговечных конструкционных легких бетонов ..... № 6. С. 6
- Технологии, оборудование и приборы**
- Shanghai Baoye** выбирает современную технологию сборного строительства от Vollert ..... № 10. С. 16
- Английская группа Ibstock (Ибсток)** вновь выбирает немецкую компанию KELLER HCW (КЕЛЛЕР ХЦВ) ..... № 3. С. 48
- Берлов Г.И., Машкин А.Н., Виноградов С.А.** Высокочастотный диэлькометрический контроль процесса твердения цементных материалов ..... № 1–2. С. 107
- Браунгардт К.** LASCO поставяет партнерам в России технику индивидуального изготовления для силикатного кирпича и крупноформатных блоков. .... № 9. С. 18
- Владимирцев Е.М., Якимов В.М., Рамазанов Т.А., Кочанова Е.Ю., Нугуманов Д.Р., Климин В.Н., Кривцов С.И., Латыпов В.М.** Опыт применения и направления улучшения звукоизоляционных характеристик инновационных панелей «Уоллсейвинг» ..... № 10. С. 58
- Гайсин А.М., Бабков В.В.** Анализ несущих наружных стен многоэтажных жилых домов в Республике Башкортостан с позиции удельной теплозащитной характеристики ..... № 10. С. 55
- Гильмутдинов Т.З., Федоров П.А.** Влияние трещин на кинетику карбонизации бетона ..... № 10. С. 63
- Греческая компания SABO S.A. (САБО С.А.)** построила один из крупнейших керамических кирпичных заводов в Королевстве Саудовская Аравия для группы AL WATANIA (АЛЬ ВАТАНИЯ) ..... № 4. С. 48
- Гусева Т.В., Захаров А.И., Молчанова Я.П., Вартанян М.А., Акберов А.А.** Наилучшие доступные технологии производства керамических строительных материалов как инструмент экологического нормирования отрасли. К выходу отраслевого информационно-технического справочника «Производство керамических изделий» ИТС 4 ..... № 4. С. 4
- Клевакин В.А., Клевакина Е.В.** Эффективное решение снижения себестоимости керамических изделий, произведенных методом полусухого прессования ..... № 4. С. 31
- Комплекс автоматизированного оборудования КОЧ-15** для резки и укладки кирпича-сырца, разгрузки высушенных изделий и садки их на печные вагонетки, разработанный ОАО «НИИСтроммаш» (г. Гатчина) ..... № 4. С. 41
- Коротких Д.Н., Кокосадзе А.Э., Кулинич Ю.И., Паникин Д.А.** Технология бетонирования внутренней защитной оболочки реакторного здания Белорусской АЭС ..... № 5. С. 10
- Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Ляпунов А.В., Блюденев А.П., Гонтаренко Б.Ю.** Применение полимерных материалов для устранения налипания влажного магнетитового концентрата на рабочие поверхности технологического оборудования цеха обогащения АО «ЕВРАЗ КГОК» ..... № 6. С. 59
- Курносов В.В., Дорожкин А.А., Калинина Н.Н., Тихонова В.Р., Филатов А.В.** Энергоэффективные технологии обжига керамических изделий в камерных печах ..... № 4. С. 37
- Латыпов В.М., Анваров А.Р., Федоров П.А., Луцык Е.В., Дербинян Г.К.** Математическое моделирование процессов коррозии как основа реформирования норм агрессивности эксплуатационной среды по отношению к бетону и железобетону ..... № 10. С. 67

- Латыпова Т.В., Ломакина Л.Н., Ахмадуллин Р.Р., Анваров Б.Р.** Об эксплуатационной надежности железобетона в системах водоснабжения и водоотведения селитебных территорий. . . . № 10. С. 50
- Лучший** способ создания интерьеров во влажных и мокрых помещениях . . . . . № 9. С. 24
- Наумов А.А.** Устранение высолов на керамическом кирпиче. . . . . № 5. С. 37
- Новый** экструдер: инновации non-stop . . . . . № 10. С. 10
- ООО «ЛИНГЛ СЕРВИС»** – ваш партнер по сервису и поставкам запасных частей от немецкой фирмы LINGL. . . . . № 3. С. 46
- Проекты** немецкой компании TECTON GmbH Keramikanlagen (Тектон ГмбХ Керамиканлаген) в Алжире и Иране. . . . . № 4. С. 46
- Салахов А.М., Морозов В.П., Богдановский А.Л., Тагиров Л.Р.** Оптимизация производства кирпича из глины Власово-Тимонинского месторождения . . . . . № 4. С. 16
- Салахов А.М., Морозов В.П., Наймарк Д.В., Ескин А.А.** Оптимизация режима обжига лицевого кирпича светлых тонов на заводе ОАО «Керма». . . . . № 8. С. 32
- Тешев И.Д., Коростелева Г.К., Попова М.А., Шедрин Ю.Н.** Модернизация заводов объемно-блочного домостроения. . . . . № 3. С. 10
- Упаковка** продукции. Экономичность и эффективность. . . . . № 4. С. 56
- Чеченская Республика** доверяет технологическому оборудованию итальянской компании «МАРКЕЛУЦО ИМПЬЯНТИ» . . . . . № 4. С. 44
- Шлегель И.Ф., Иванов В.Г., Шаповалов Д.Л.** Оптимизация туннельных печей. . . . . № 4. С. 52
- Шлегель И.Ф., Шавич Г.Я., Рукавицын А.В., Андрианов А.В., Албутов А.В., Шерстобитов Ю.М.** Стержневые смесители серии ШЛ в силикатном производстве . . . . . № 9. С. 20
- Юмашева Е.И.** Об опыте реконструкции действующего кирпичного производства в условиях экономического кризиса . . . . . № 1–2. С. 14
- Проблемы материальной базы и состояние отрасли строительства**
- Буткевич Г.Р.** Состояние промышленности минерального сырья строительных материалов в США в 2015 году . . . . . № 11. С. 32
- Буткевич Г.Р., Харо О.Е.** Проблемы конвейеризации горных работ . . . . . № 4. С. 97
- Валиев Ш.Н., Кокоева Н.Е., Карпеев С.В., Кочетков А.В.** Основные направления совершенствования Технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог». . . . . № 3. С. 56
- Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С.** Производство автоклавного газобетона. Итоги 2015 года. Прогноз на 2016 год . . . . . № 5. С. 4
- Володченко А.Н., Лесовик В.С.** Перспективы расширения номенклатуры силикатных материалов автоклавного твердения . . . . . № 9. С. 34
- Дуденкова Г.Я., Токаева О.Н., Щербаков А.А., Докучаева Т.А., Попов А.А.** Наилучшие доступные технологии – новация в техническом регулировании стройиндустрии . . . . . № 1–2. С. 7
- О состоянии** рынка сырьевых материалов для предприятий крупнопанельного домостроения . . . . . № 3. С. 4
- Пермяков Е.Н., Корнилов А.В., Садыков Р.К., Морозова С.В.** Кислотоупорные керамические изделия на основе кирпично-черепичных глин Республики Татарстан. . . . . № 8. С. 40
- Потравный И.М., Генгут И.Б., Нямдорж Даваахуу.** Возможности использования ресурсов техногенных месторождений для производства строительных материалов (на примере КОО «Предприятие Эрдэнэт») . . . . . № 3. С. 52
- Семёнов А.А.** О состоянии отечественного рынка керамических стеновых материалов . . . . . № 8. С. 9
- Семёнов А.А.** О текущей ситуации в производстве силикатных стеновых материалов в России. . . . . № 9. С. 4
- Семёнов А.А.** Перспективы развития строительного комплекса и промышленности строительных материалов в 2016 г. . . . . № 1–2. С. 4
- Туркменистан:** крупные инвестиции в технологию изготовления сборных железобетонных элементов . . . . . № 10. С. 13
- Конгрессы, семинары, выставки, юбилеи, информация**
- «Градостроительство** в тени Сталина. Мир в поисках социалистического города в СССР» . . . . . № 11. С. 46
- «КНАУФ ГИПС Кунгур»** отметил 15-летие . . . . . № 8. С. 38
- Baltimix** – главный форум производителей сухих строительных смесей прошел в Калининграде. . . . . № 10. С. 48
- PROGRESS GROUP** – ваш партнер в области создания инновационных долгосрочных решений . . . . . № 3. С. 14
- VIII Международная конференция** «Нанотехнологии в строительстве: NTC-2016». . . . . № 5. С. 9
- VIII Международная научно-практическая конференция** «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий» . . . . . № 11. С. 3
- XIV Международная научно-практическая конференция** «Развитие керамической промышленности России: КЕРАМТЭК-2016» состоялась в Челябинске . . . . . № 8. С. 4
- Абакумова Т.А., Юмашева Е.И.** Системное развитие отечественной науки – залог интереса к ней международного научного сообщества . . . . . № 7. С. 4
- Аксенов Е.М., Васильев Н.Г., Лыгина Т.З., Садыков Р.К.** ФГУП «ЦНИИГеолнеруд» 70 лет. Этапы большого пути . . . . . № 3. С. 40
- Воротынский** кирпичному заводу (ОАО «Стройполимеркерамика») 70 лет. . . . . № 8. С. 16
- Дню строителя** в России 60 лет . . . . . № 8. С. 30
- Древней Грузии** – новое производство КНАУФ. . . . . № 11. С. 9
- К 100-летию** со дня рождения Г.И. Горчакова. Исследование долговечности, состава, структуры и свойств цементных систем . . . . . № 6. С. 62
- Кафедре** «Строительные конструкции» УГНТУ – 45 лет . . . . . № 10. С. 33
- Конференция** по газобетону в Минске . . . . . № 8. С. 51
- Кризис** – время повышения эффективности производства, сбыта и управления проектами № 5. С. 50
- Народное предприятие** «Челябинское рудоуправление»: 90 лет производства уникального горного оборудования и поставки высококачественных глин и песков. . . . . № 4. С. 24
- О современных** трендах базового выравнивания напольных оснований. . . . . № 7. С. 32
- Очередное** заседание ассоциации исследователей асфальтобетона . . . . . № 5. С. 18
- Профессионалы** встретились на VI Международной научно-практической конференции «Развитие крупнопанельного домостроения в России» InterConPan-2016 в Краснодаре . . . . . № 10. С. 4
- Строймастер 2016**. . . . . № 8. С. 31

# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья — это сочинение небольшого размера (до 3-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

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

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

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

### НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

### ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 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.

**ВНИМАНИЕ! С 1 января 2014 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!**

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

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

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

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте <http://www.rifsm.ru/page/81/>

The Largest and Major Ceramics Industry Exhibition  
in the World with **100,000sqm** Exhibiting Space !



## CERAMICS CHINA 2017

**Date: June 1st - 4th, 2017**

**Venue: Canton Fair Complex, Guangzhou**

Hosted by China Ceramic Industrial Association  
Organized by Unifair Exhibition Service Co., Ltd.



**UNIFAIR**  
EXHIBITION SERVICE

+86-20-8327 6369 / 8327 6389  
overseas@ceramicschina.com.cn  
www.ceramicschina.com.cn

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

THE SCIENTIFIC AND PRACTICAL EDITION



**BEDESCHI**



**З Beralmar**

14–15 ИЮНЯ 2017  
ЧЕБОКСАРЫ, РОССИЯ  
ГОСТИНИЦА «РОССИЯ»,  
ЗАЛ «МОДЕРН»

## XV

ON JUNE 14–15, 2017  
CHEBOKSARY, RUSSIA  
HOTEL «RUSSIA»,  
HALL «MODERN»

THE SCIENTIFICALLY-PRACTICAL CONFERENCE  
«DEVELOPMENT OF THE CERAMIC INDUSTRY OF RUSSIA»

# KERAMTEX



Партнеры МИАП KERAMTEX / KERAMTEX' partners



**Ceramitec**



**ПОСЕЩЕНИЕ**  
**КИРПИЧНОГО ЗАВОДА «КЕТРА» (14.06.2017)**  
**И ПРЕДПРИЯТИЯ «ЭКОКЛИНКЕР» (15.06.2017)**  
VISIT TO  
KETRA BRICK-PLANT & ECOCLINKER

**ЭКО КЛИНКЕР**

**15.06.2017**

Гала-ужин с вручением профессиональных наград в ресторане «Роланд»  
CERAMIC AWARDS DINNER – RESTAURANT «ROLAND»

Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 9, стр. 3  
Тел./факс: +7 (499) 976-22-08, 976-20-36, моб. +7 (910) 437-03-98

[www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)

[mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru)