

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ<sup>®</sup> №8



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

АВГУСТ 2014 г. (716)



## САРАССИОЛІ



Комплектные заводы для производства керамического кирпича и черепицы



## КРЕАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Всегда успешный выбор

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

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

№8

Основан в 1955 г.

(716) август 2014 г.

## Главный редактор:

**ЮМАШЕВА Е. И.**,  
инженер химик-технолог,  
Почетный строитель России

## Редакционный совет:

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

**БАРИНОВА Л. С.**,  
канд. хим. наук, вице-президент  
Российского союза строителей (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 керамзита и  
керамзитобетона (Самара)

**ЖУРАВЛЕВ А. А.**,  
Президент ассоциации «Недра» (Москва)

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

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

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

**ЛЕОНИЧ 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)

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

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,  
журнал «Строительные материалы»®, 2014

**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**

## Керамические строительные материалы

**Развитие керамической промышленности России продолжается.  
 В Ростове-на-Дону состоялась XII Международная научно-практическая  
 конференция КЕРАМТЭК-2014 (Информация) ..... 4**

**A.A. СЕМЕНОВ  
 Состояние российского рынка керамических стеновых материалов ..... 9**

**A.Ю. СТОЛБОВУШКИН  
 Влияние добавки волластонита на формирование структуры стеновых  
 керамических материалов из техногенного и природного сырья ..... 13**

**Новый проект компании «КЕЛЛЕР ХЦВ» (Германия) –  
 вклад в защиту окружающей среды и рациональное  
 использование ресурсов (Информация) ..... 18**

**LINGL: новое руководство и новые сферы деятельности (Информация) ..... 20**

**SABO – Wienerberger. Проекты 2014 (Информация) ..... 22**

**Компания MORTE (Испания) представляет мощную машину  
 (Информация) ..... 24**

**70 лет институту «ЮжНИИстром» – гвардия отрасли в строю! (Информация) ..... 26**

**Все строительные ресурсы России – на специализированной  
 электронной торговой площадке ESTR.RU (Информация) ..... 28**

**A.П. ЗУБЁХИН, А.В. ВЕРЧЕНКО, Н.Д. ЯЦЕНКО  
 Зависимость прочности керамогранита от фазового состава ..... 30**

## Пеностекло: производство и применение

**A.И. НИКИТИН, Г.И. СТОРОЖЕНКО, Л.К. КАЗАНЦЕВА, В.И. ВЕРЕЩАГИН  
 Теплоизоляционные материалы и изделия на основе трепелов  
 Потанинского месторождения ..... 34**

**Д.Р. ДАМДИНОВА, Н.Н. АНЧИЛОВ, В.Е. ПАВЛОВ  
 Пеностекла системы стеклобой – глина – гидроксид натрия:  
 составы, структура и свойства ..... 38**

**O.B. КАЗЬМИНА, В.И. ВЕРЕЩАГИН  
 Методологические принципы синтеза пеностеклокристаллических  
 материалов по низкотемпературной технологии ..... 41**

## Бетоны: наука и практика

**Б.Я. ТРОФИМОВ, Л.Я. КРАМАР  
 Деформации и стойкость бетона при циклическом замораживании ..... 46**

**Л.А. УРХАНОВА, С.А. ЛХАСАРАНОВ, С.П. БАРДАХАНОВ  
 Модифицированный бетон с нанодисперсными добавками ..... 52**

**В.Н. МОРГУН, П.Н. КУРОЧКА, А.Ю. БОГАТИНА, Л.В. МОРГУН, Е.Э. КАДОМЦЕВА  
 Вопросы сцепления стержневой арматуры с бетоном и фибробетоном ..... 56**

**M.C. ЕЛСУФЬЕВА, В.Г. СОЛОВЬЕВ, А.Ф. БУРЬЯНОВ  
 Применение расширяющихся добавок в сталефибробетоне ..... 60**

## Материалы и конструкции

**Б.С. БАТАЛИН, М.П. КРАСНОВСКИХ  
 Долговечность и термическая устойчивость пенополистирола ..... 64**

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®

## No. 8

Founded in 1955

(716) August 2014 r.

### Editor-in-chief

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

### Editorial Board

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

**BARINOVA L.**,  
Candidate of Sciences (Chemistry), Vice-  
President of the Russian Union of Builders  
(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)

**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)

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

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

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

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

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

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

### Ceramic building materials

**Development of Ceramic Industry of Russia Proceeds. The XII International Scientific and Practical Conference KERAMTEX-2014 Was Held in Rostov-on-Don (Information)..... 4**

A.A. SEMYONOV

**The State of the Russian Market of Ceramic Wall Materials. .... 9**

A.YU. STOLBOUSHKIN

**Influence of the Wollastonite Additive on the Structure of Wall Ceramic Materials from Technogenic and Natural Resources ..... 13**

**The New Project of «KELLER HCW» GmbH (Germany) is a Contribution to Environmental Protection and Rational use of Resources (Information)..... 18**

**LINGL: New Management and New Spheres of Activities (Information)..... 20**

**SABO – Wienerberger. New Projects (Information) ..... 22**

**MORTE Co. (Spain) Presents its Washing Machine (Information) ..... 24**

**The Institute «Yuzhniistrm» is 70 Years Old – Branch Guard is in a System..... 26**

**All Building Resources of Russia – at the Specialized Electronic Trading Area ESTR.RU (Information) ..... 28**

A.P. ZUBEKHIN, A.V. VERCHENKO, N.D. YATSENKO

**Dependence of Porcelain Stoneware Strength on its Phase Composition ..... 30**

### Foam Glass: science and practice

A.I. NIKITIN, G.I. STOROZHENKO, L.K. KAZANTSEVA, V.I. VERESHCHAGIN

**Heat-Insulating Materials and Products on the Basis of Tripolis of Potanin Deposit ... 34**

D.R. DAMDINOVA, N.N. ANCHILOEV, V.E. PAVLOV

**Foam Glasses of Cullet – Clay – Sodium Hydroxide System: Compositions, Structures and Properties ..... 38**

O.V. KAZ'MINA, V.I. VERESHCHAGIN

**Methodological Principles of Synthesis of Foam-Glass-Crystal Materials According to Low-Temperature Technology ..... 41**

### Concretes: science and practice

B.Ya. TROFIMOV, L.Ya. KRAMAR

**Deformations and Durability of Concrete During Cyclic Freezing ..... 46**

L.A. URKHANOVA, S.A. LKHASARANOV, S.P. BARDAKHANOV

**Modified Concrete with Nano-Disperse Additives ..... 52**

V.N. MORGUN, P.N. KUROCHKA, A.Yu. BOGATINA, L.V. MORGUN, E.E. KADOMTSEVA

**Issues of Bar Reinforcement Bond with Concrete and Fiber Concrete. .... 56**

M.S. YELSUFEVA, V.G. SOLOVYEV, A.F. BURYANOV

**The use of Expanding Additives in Steel Fiber Concrete ..... 60**

### Materials and structures

B.S. BATALIN, M.P. KRASNOVSKIKH

**Durability and Heat Resistance of Foam Polystyrene ..... 64**

# Строительные материалы № 8

Л.А. ЕРОХИНА, А.С. ГРАБАРЕВ

Состояние стен из легкого бетона при эксплуатации на Севере ..... 68

## Результаты научных исследований

С.В. ФЕДОСОВ, В.Г. КОТЛОВ, Р.М. АЛОЯН, Ф.Н. ЯСИНСКИЙ, М.В. БОЧКОВ

Моделирование тепломассопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Часть 2. Динамика полей температуры при произвольном законе изменения температуры воздушной среды ..... 73

А.А. САКОВИЧ, Д.М. КУЗЬМЕНКОВ

Получение из доломита и серной кислоты синтетического гипса и перекристаллизация его в  $\alpha$ -CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O в растворе сульфата магния ..... 80

# Stroitel'nye Materialy No. 8

L.A. EROKHINA, A.S. GRABAREV

Condition of Lightweight Concrete Walls Operating in the North ..... 68

## Results of scientific research

S.V. FEDOSOV, V.G. KOTLOV, R.M. ALOYAN, F.N. YASINSKI, M.V. BOCHKOV

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 ..... 73

A.A. SAKOVICH, D.M. KUZ'MENKOV

Producing of Synthetic Gypsum from Dolomite and Sulfuric Acid and Its Recrystallization in  $\alpha$ -CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O in Magnesium Sulfate Solution ..... 80

## Уважаемые коллеги!

Подписку на журнал «Строительные материалы» всегда можно оформить через редакцию.

Для этого необходимо прислать заявку в произвольной форме

по тел./факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36 или по эл. почте: mail@rifsm.ru.

В заявке надо указать название организации (для выставления счета), юридический и почтовый адреса, телефон и контактное лицо.

Открыта **подписка на электронную версию** журнала:

**<http://ejournal.rifsm.ru/>**



На почте подписку можно оформить:

По объединенному каталогу «Пресса России»

индекс **70886**



По каталогу агентства «Роспечать»

индекс **79809**

**Оставайтесь с нами!**



## Развитие керамической промышленности России продолжается.

В Ростове-на-Дону состоялась XII Международная научно-практическая конференция KERAMTЭКС-2014

Главный российский форум керамиков состоялся 28–29 мая 2014 г. в Ростове-на-Дону. Из года в год растет интерес профессионального сообщества к данному мероприятию, ставшему не только площадкой деловых встреч, обмена научно-технической информацией, презентации новинок оборудования и технологии, но и местом встречи друзей, не просто коллег – соратников. В этом году на конференцию «Развитие керамической промышленности России: KERAMTЭКС-2014» приехали более 250 участников из 31 региона России и 10 зарубежных стран. Среди них руководители и ведущие специалисты 50 кирпичных заводов, ученые шести российских вузов и четырех отраслевых НИИ, представители шести сырьевых предприятий и более 30 машиностроительных и инжиниринговых компаний. Отрадно отметить, что впервые в KERAMTЭКС приняли участие коллеги с Беловодского кирпичного завода из Кыргызстана.



*Ростова-на-Дону – Врата Кавказа. Исторически сложилось так, что именно этот город открывал путь из европейской части России на Юг. Он находится на пересечении транспортных магистралей, обеспечивающих выход к трем морям – Черному, Азовскому, Каспийскому, а значит, и связь с Закавказьем и Средиземноморьем.*

*Место для основания города выбрал еще Петр I во время второго Азовского похода в 1696 г. Однако реализовала задумку батюшки императрица Елизавета Петровна, издавшая 15 декабря 1749 г. указ о сооружении Темерницкой таможни, «где донские казаки могут вести свою торговлю с приезжими греками, турками и армянами». С этой даты ведется отсчет истории города.*

*В 1761 г. началось строительство крепости, названной именем митрополита Ростовского и Ярославского Димитрия, которая стала самой мощной и крупной среди южных российских крепостей. В 1783–1784 гг. комендантом крепости был полководец А.В. Суворов, здесь начал военную службу адмирал Ф.Ф. Ушаков.*

*В 1797 г. поселение, существовавшее при крепости, было преобразовано в город, которому в 1806 г. дали название Ростов-на-Дону – чтобы отличить его от Ростова Великого.*

*В начале XX в. Ростов-на-Дону стал третьим в России городом по величине внешнеэкономического товарооборота. К этому времени в нем было построено около 140 промышленных предприятий.*

*Торгово-промышленное значение города было столь велико, что в нем размещалось 17 иностранных консульств.*

*К концу XIX в., когда город был хорошо развит экономически, сформировался и его архитектурный облик, в создании которого принимали участие знаменитые столичные архитекторы. К сожалению, большинство архитектурных памятников не дошло до нашего времени. Ростов-на-Дону сильно пострадал в годы Великой Отечественной войны, войдя в число десяти наиболее пострадавших от войны городов России.*

*Современный Ростов-на-Дону крупнейший город на юге Российской Федерации, административный центр Ростовской области и Южного федерального округа с населением более 1 млн человек. Это десятый по численности населения город России. Крупный административный, культурный, научно-образовательный, промышленный центр и важнейший транспортный узел Юга России.*

*Вот в каком славном, прекрасном, гостеприимном городе состоялась XII KERAMTЭКС.*



Традиционно конференция КЕРАМТЭКС состоит из двух частей – пленарного заседания и выездной сессии на предприятия отрасли. В этом году по приглашению руководства крупнейшего керамического холдинга России UNITILE выездная сессия была расширена – участники посетили наряду с Маркинским кирпичным заводом карьер на знаменитом Владимировском месторождении тугоплавких глин.

**Владимировский карьер тугоплавких глин** (ОАО «ВКТГ») занимается добычей, переработкой и поставками минерального сырья для производства всех видов керамики. Он обеспечивает глинистым сырьем не только предприятия холдинга, но и многих производителей строительной керамики из регионов России. ОАО «Стройфарфор» и Воронежский керамический завод, выпускающие облицовочную плитку и керамогранит, потребляют порядка 154 тыс. т в год, Маркинскому кирпичному заводу требуется около 164 тыс. т ежегодно. Более 100 тыс. т продукции у «ВКТГ» покупают ОАО «Губский кирпичный завод», ООО «Аксайский кирпичный завод», ОАО «Донской кирпич» и многие другие предприятия.

Карьер располагает двумя комплексами шихтовки глин, производительностью 280 и 240 тыс. т в год.

На ВКТГ селективно добываются 19 разновидностей глин с различным химическим составом и технологическими свойствами, из которых производится 9 марок шихты.



Владимировское месторождение тугоплавких глин – явление уникальное. Его значение для отрасли возросло многократно после эскалации нестабильности в сопредельном государстве, бывшим до недавнего времени главным поставщиком высококачественных тугоплавких и беложгущихся глин. Участники конференции неоднократно выражали благодарность руководству холдинга UNITILE и лично Олегу Юрьевичу Щеголеву за уникальную возможность посетить карьер



Крупные структуры – большие заботы. Есть что обсудить О.Ю. Щеголеву, директору по добыче и обеспечению сырьем Холдинга «ЮНИТАЙЛ» УК (слева) и С.А. Бегоулеву, управляющему ООО «ЛСР»–«Стеновые» (Группа ЛСР, Санкт-Петербург)



**Маркинский кирпичный завод** был запущен в эксплуатацию в 2007 г. В настоящее время это самое мощное производство керамического облицовочного кирпича в Южном федеральном округе.

Завод оснащен современным итальянским и немецким оборудованием компаний: IPA International, Atlas Copco, MARGEN MARANEIIO, GRUNDFOS, Hochspannungstechnik und Transformatorbau GmbH, SENTRON. Мощность предприятия составляет 65 млн шт. усл. кирпича в год.



На КЕРАМТЭКС приезжают специалисты высочайшего класса. Казалось бы, чем их можно удивить на кирпичном заводе? Тем не менее, каждый находит для себя новое и полезное, чем можно будет поделиться с коллегами на своем предприятии

Множество вопросов и исчерпывающие ответы на них – добрая традиция мероприятий КЕРАМТЭКС, которую специалисты оценивают очень высоко



На пленарном заседании, состоявшемся в конгресс-отеле «Дон Плаза», было представлено 27 докладов. Как всегда, они охватывали все аспекты керамического производства.

Тон и остроту задал доклад **А.А. Семенова**, канд. техн. наук, генерального директора ООО «ГС-Эксперт», который представил рынок керамических стеновых материалов как отражение макроэкономической ситуации и состояния строительного комплекса (см. статью в этом номере на стр. 9–12).

**П.В. Тягельский**, исполнительный директор НИИИстроммаш, подготовил к 40-летию института не юбилейный, но абсолютно деловой доклад, в котором представил успешные работы последних лет и предложения по реализации проектов реконструкции и нового строительства кирпичных заводов.



В 2013 г. на кирпичном заводе «Победа ЛСР» была запущена первая в России линия клинкерного кирпича. О том, с какими трудностями столкнулись специалисты предприятия при запуске линии и отладке технологии, рассказала коллегам главный технолог В.Ф. Корепанова. Именно ей был вручен памятный знак Признание профессионального сообщества КЕРАМТЭКС в номинации «Технолог года»

Комплексная модернизация Тульского кирпичного завода и завода холдинга «Башкирский кирпич» стала темой доклада **И.В. Билана**, директора ПАО «Харьковский машиностроительный завод «Красный Октябрь», выпускающего оборудование под торговой маркой Plinfa. Новейшее оборудование, объединенное в серию PL успешно конкурирует с продукцией ведущих иностранных производителей. Во время подготовки данного материала редакцией стало известно, что предприятием подписан очередной контракт с российским партнером: ООО «Копейский кирпичный завод» приобретает пресс PL 100 повышенной мощности (до 50 т в час), а также линию резки и укладки кирпича PL 562.04., поставка которых должна начаться в сентябре.

Следует отметить, что зарубежные коллеги в своих докладах также перешли от презентаций компаний к представлению реализованных проектов. Например, **Ю. Савельева** («Бедески», Италия) рассказала о модернизации производственной линии на заводе «Алексеевская керамика» в Татарстане. **И. Катинас** («Вердес», Испания) представил новую разработку компании — вальцы супертонкого помола с зазором до 0,6 мм, которые установлены на кирпичном заводе «Тольятти-азот».

Широкие перспективы имеет новая разработка итальянской компании «Капачиоли», работу над которой планируется завершить в этом году, — линия жесткой экструзии для переработки массы влажностью 10–15%. В основе линии экструдер Caraccioli ARAL Staff.



И.В. Билан



В коллекции Б.В. Талпы, канд. геол.-мин. наук, заведующего лабораторией Технологической минералогии и новых видов минерального сырья Южного федерального университета (Ростов-на-Дону), сотни старинных кирпичей, выпущенных как в России, так и за рубежом. В перерывах между заседаниями коллеги с огромным удовольствием слушали историю каждого экземпляра



По мнению Е.Д. Блиновой, генерального директора ООО «Салвена консалтинг» – представителя французской фирмы БРУАЕР ПУАТТМИЛЛ ИНЖЕНЕРИ, технология сухого тонкого помола – будущее современной керамики

А.П. Зубёхин, д-р техн. наук, профессор Южно-Российского государственного политехнического университета им. М.И. Платова (г. Новочеркасск) представил на конференции новую книгу «Теоретические основы белизны портландцемента и керамики» (Зубёхин А.П., Голованова С.П., Яценко Н.Д.), выпущенную издательством «Стройматериалы». Конечно, коллеги не упустили возможность приобрести книгу с автографом автора



**Отличительная черта КЕРАМТЭКС – активные дискуссии и обсуждения докладов**



Г.И. Божьева, первый зам. ген. директора Гжельского кирпичного завода (Московская обл.)



Г.И. Стороженко, д-р техн. наук, генеральный директор НПК «Баскей» (Новосибирск)



Р.И. Гайнуллин, инженер-консультант итальянской компании «Пуччини Индустрия»



В.М. Погребенков, д-р техн. наук, Томский политехнический университет



Для М.Н. Кораблина, главного инженера Тульского кирпичного завода, самый тяжелый период реконструкции позади. Теперь предстоит отлаживать новое производство и выходить на новый уровень производительности и качества. Приятно разделить успех с коллегами-друзьями!



А.В. Гаврилов приехал на конференцию в новом статусе директора по развитию немецкой компании «ТЕКТОН»



Сделать доклад, посвященный 30-летию компании и ее референциям последних лет, руководство греческой фирмы «САБО» доверило коммерческому представителю Я. Гурованову



И.А. Женжурист, доцент Казанского государственного архитектурно-строительного университета, многие годы отдала работе на кирпичном заводе



А.А. Попов, директор компании «Бельчуг-строй» (Краснодарский край)



В рамках КЕРАМТЭКС-2014 впервые технология полусухого формования была выделена в *научную секцию «Кирпич полусухого прессования: лицевой, цветной, морозостойкий, клинкерный – новые конкурентные качества, инновационные технологические и аппаратные решения»*. По приглашению Ю.И. Небежко участники секции посетили кирпичный завод ООО «ТАНДЕМ-ВП», который выпускает кирпич полусухого прессования. Заседание секции состоялось в зале ученого совета РГСУ. Выбор площадки был не случаен, ведь именно ростовские ученые активно продвигают идею о перспективности технологии полусухого формования (В.Д. Котляр, Б.В. Талпа, Ю.В. Терехина). С их помощью в настоящее время ведется реконструкция кирпичного завода ООО «ТАНДЕМ-ВП».

Участники секции познакомились не только с теоретическими разработками в этом направлении, но и с новым оборудованием и технологиями российских машиностроителей и инжиниринговых компаний (ООО «ИНТА-строй», НПК «Баскей», ЗАО «ЮжНИИИстром»).



В зале ученого совета РГСУ работала научная секция по технологии полусухого формования



Апологет полусухого формования А.Ю. Столбоушкин на кирпичном заводе «Тандем-ВП»



Ю.И. Небежко поделился своим видением проблемы



Вознесенский войсковой кафедральный собор — православный храм в Новочеркасске, второй кафедральный собор Ростовской и Новочеркасской епархии и главный храм Донского казачества. Здесь покоятся останки донских атаманов М.И. Платова, В.В. Орлова-Денисова, И.Е. Ефремова, Я.П. Бакланова

*Специалисты постоянно отмечают насыщенность конференции новой научной и технической информацией, высокую эффективность переговоров с поставщиками оборудования и комплектующих, и огромное удовольствие от общения с коллегами, ставшими за годы проведения конференции друзьями.*

*Завершился КЕРАМТЭКС-2014, конечно, на легендарном Левбердоне в «Атаманской усадьбе», где гостей ждали казачье угощение и праздничная концертная программа.*



Для менеджера чешской компании «Силике керамика» Мирослава Калуса это первый КЕРАМТЭКС. Хочется запечатлеть буквально все.



Н.Г. Гуров начал работу в промышленности строительных материалов на гипсовом заводе в Иркутской области сразу после окончания вуза и уже 35 лет возглавляет один из ведущих научно-исследовательских и проектных институтов – ЮжНИИИстром. Николаю Григорьевичу Гурову был вручен памятный знак-символ КЕРАМТЭКС «Гвардии кирпичной промышленности»

**Организаторы и участники с нетерпением будут ждать новой встречи в следующем году. Присоединяйтесь и оставайтесь с нами!**

УДК 339.13:691.42

А.А. СЕМЕНОВ, канд. техн. наук, генеральный директор (info@gs-expert.ru)

ООО «ГС-Эксперт» (125047, Москва, 1-й Тверской-Ямской пер., 18, оф. 207)

## Состояние российского рынка керамических стеновых материалов

Проанализировано состояние промышленности керамических стеновых материалов в России. Приведены данные об имеющихся производственных мощностях, объемах, региональной и товарной структуре производства керамических стеновых материалов. Показано, что на долю анализируемой продукции приходится около 50% от общего объема потребления штучных стеновых материалов. Приведены два сценария прогноза развития рынка керамических стеновых материалов в России в 2014–2016 гг.

**Ключевые слова:** статистика, анализ рынка, керамические стеновые материалы.

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

### The State of the Russian Market of Ceramic Wall Materials

The state of the industry of ceramic wall materials in Russia is analyzed. Data on available production capacities, volumes, regional and commodity structures of ceramic wall materials production are presented. It is shown that the part of the analyzed products totals about 50% of the total consumption of piece wall materials. Two scenarios of prognosis of ceramic wall materials market development in Russia in 2014–2016 are presented.

**Keywords:** statistics, analysis of market, ceramic wall materials.

По данным Росстата, в 2013 г. мощности действующих российских производителей керамических стеновых материалов (без учета малых предприятий и индивидуальных предпринимателей) составляли 8,5 млрд шт. усл. кирпича. Ввод новых производственных мощностей составил 230 млн шт. усл. кирпича. Следует отметить, что стабильный ежегодный рост производственных мощностей наблюдался с докризисного времени. С 2007 г. суммарные производственные мощности российских заводов увеличились на 66%. При этом, по оценкам «ГС-Эксперт», средняя загрузка производственных мощностей в 2013 г. составила около 80%.

Производственные мощности по выпуску керамических стеновых материалов размещены по территории страны очень неравномерно и в основном расположены в Центральном и Приволжском федеральных округах, на долю которых суммарно приходится свыше 53% (рис. 1).

По данным Росстата, в 2013 г. выпуск керамического кирпича и блоков в России осуществляли свыше 200 крупных и средних предприятий. Следует отметить, что данные по объемам производства керамического кирпича учитываются в двух товарных группах: «Кирпич керамический неогнеупорный строительный» (код ОКПД 26.40.11.110) и «Кирпич керамический» (код ОКПД 26.61.11.111). В данном отчете приведены суммарные значения. Данные по выпуску керамических крупноформатных блоков учитываются по товарной группе «Блоки керамические строительные для обычной кладки – пустотелые или цельные готовые изделия» (код ОКПД 26.40.11.120).

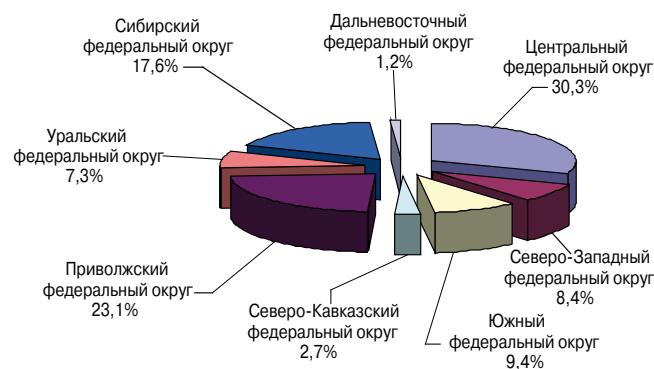
При этом ряд предприятий не предоставляет в органы государственной статистики данные об объемах производства товарной продукции либо предоставляет некорректные данные. Для уточнения реальных объемов выпуска товарной продукции специалисты «ГС-Эксперт» провели опросы российских производителей керамических стеновых материалов. Цифры, полученные в ходе опросов предприятий, и данные органов статистики отличаются как в большую, так и в меньшую стороны. Разница в данных отмечена примерно у 10% опрошенных предприятий отрасли.

По сведениям Росстата, в 2013 г. суммарный объем производства керамических стеновых материалов в

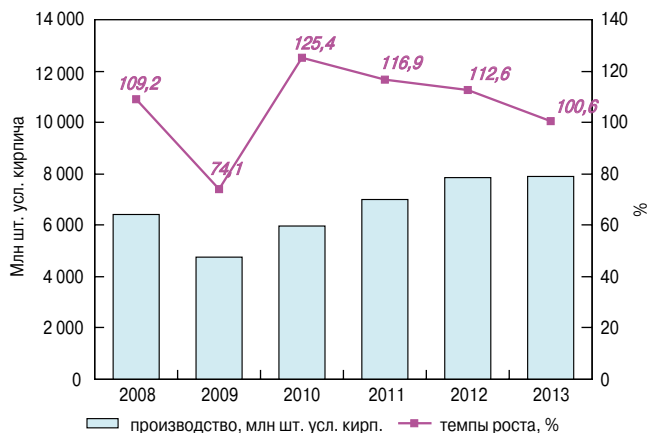
стране составил 7,9 млрд шт. усл. кирпича, в том числе керамических крупноформатных блоков – 285 млн шт. усл. кирпича (по данным Росстата), или около 640 млн шт. усл. кирпича, по данным «ГС-Эксперт». Проблема учета данной продукции заключается в том, что одни производители относят ее к самостоятельной товарной группе 26.40.11.120 «Блоки керамические строительные для обычной кладки – пустотелые или цельные готовые изделия», а другие учитывают ее совместно с керамическим кирпичом в товарной группе 26.40.11.110 «Кирпич керамический неогнеупорный строительный».

Итоги 2013 г. показывают, что рост объемов производства керамических стеновых материалов в стране практически прекратился (рис. 3). Однако предварительные оценки специалистов «ГС-Эксперт» позволяют говорить о росте 2,5–3%, если учитывать данные по малым предприятиям (статистика подводится во втором полугодии).

Следует отметить неравномерное изменение объемов выпуска керамического кирпича по регионам. По итогам 2013 г. на фоне общего сокращения объемов производства этой продукции в стране наиболее сильно ее выпуск сократился в Дальневосточном (-9,2% к уровню 2008 г.), Северо-Кавказском (-8,3%), Северо-Западном (-6,4%) и Южном (-5,5%) федеральных округах, что привело к заметному сокращению долей этих



**Рис. 1.** Региональная структура размещения производственных мощностей по выпуску керамического кирпича. Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»



**Рис. 2.** Динамика производства керамических стеновых материалов в 2008–2013 гг., млн шт. усл. кирпича. Источник: Росстат, данные предприятий, оценка «ГС-Эксперт»

регионов в общероссийском выпуске керамического кирпича. Рост объемов производства был зафиксирован только в двух федеральных округах – Приволжском и Сибирском. Если рассматривать регионы, в которых расположены кирпичные заводы, то в 2013 г. увеличение объемов производства керамических стеновых материалов наблюдалось только в 49 (в 2012 г. – в 57) из 75 регионов.

По мере развития технологии и технической модернизации кирпичная промышленность становится отраслью с высокой концентрацией производства. По итогам 2013 г. 10 кирпичных заводов из более чем 300 действующих в стране, включая средние и мелкие предприятия, произвели более 100 млн шт. усл. кирпича. Объем производства на 22 заводах составил более 50 млн шт. усл. кирпича в год. В общей сложности на долю 30 кирпичных заводов пришлось около трети от общего объема производства керамических стеновых материалов в России.

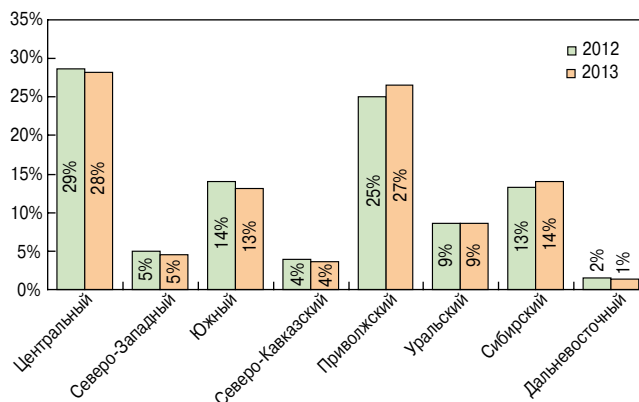
Лидером по объемам выпуска стеновых керамических материалов среди российских предприятий на протяжении последних лет стабильно остается ООО «Винербергер кирпич». Два завода компании, расположенные во Владимирской области и Республике Татарстан, в прошедшем году произвели свыше 280 млн шт. усл. кирпича, улучшив производственные показатели на 2,5%.

Второе место занимает ООО «ЛСР Стеновые». Суммарный объем выпуска керамических стеновых материалов заводами компании, расположенными в Санкт-Петербурге, Ленинградской и Московской областях, увеличился более чем на 7% и превысил 240 млн шт. усл. кирпича.

Для оценки товарной структуры производства был проведен опрос представителей основных действующих заводов. Вся выпускаемая продукция условно объединена в восемь товарных групп:

- кирпич рядовой (полнотелый одинарный и утолщенный, пустотелый одинарный и утолщенный);
- кирпич лицевой (пустотелый одинарный и утолщенный);
- камни стеновые (2НФ, 2,1НФ);
- крупноформатные керамические блоки (камни);
- прочие виды продукции (кирпич нестандартных размеров) и др.

В 2013 г. товарная структура производства керамических стеновых материалов, по оценкам специалистов «ГС-Эксперт», не претерпела существенных изменений по сравнению с 2012 г. Основной объем производимой в стране продукции по-прежнему представлен рядовым одинарным полнотелым кирпичом, на долю которого приходится около 45% от общего объе-



**Рис. 3.** Структура производства керамических стеновых материалов в разрезе федеральных округов в 2012–2013 гг., %. Источник: оценка «ГС-Эксперт» на основе данных Росстата

ма производства. В целом на долю рядового кирпича приходится около 62% производимых в России керамических стеновых материалов, на долю лицевого кирпича – 23%, доля крупноформатных стеновых керамических блоков в структуре производства составляет порядка 7%.

Возможности производить крупноформатные керамические стеновые блоки в настоящее время имеются не менее чем у 16 предприятий отрасли. Однако не все они осуществляют выпуск данной продукции. Наибольшая доля выпуска блоков в структуре производства керамических стеновых материалов характерна для предприятий ООО «Винербергер кирпич». По данным компании, она составляет в последние годы от 80 до 94%. Также значительная доля выпуска крупноформатных блоков (более 40% от общего объема производства керамических стеновых материалов) отмечена у ОАО «Славянский кирпич» (Краснодарский край), ООО «ЛСР-Стеновые» (Ленинградская обл.), ООО «КЗ «Браер» (Тульская обл.), ООО «Пятый элемент» (Калининградская обл.), ЗАО «Самарский комбинат керамических материалов» (Самарская обл.).

Рассматривая состояние внешнеторговых операций, можно отметить, что в последние годы наблюдается существенное преобладание объемов импорта керамических стеновых материалов над объемами экспорта этой продукции.

После сокращения объемов импорта керамического кирпича в условиях кризиса в 2009 г. из-за падения спроса со стороны предприятий строительного комплекса и индивидуальных застройщиков начиная с 2010 г. отмечается устойчивый рост объемов импортных поставок кирпича в Россию. По итогам 2013 г. по сравнению с докризисным периодом объем импортных поставок увеличился более чем в три раза и превысил 318 млн шт. усл. кирпича.

Безусловным лидером по объемам поставок керамического кирпича на российский рынок в последние годы стабильно остается Республика Беларусь. По итогам 2013 г. на долю поставок из этой страны пришлось около 53% от общего объема импорта керамического кирпича. На фоне стабильного роста объемов поставок керамического кирпича из Украины и ряда европейских стран, прежде всего Германии, Финляндии, Эстонии, и соответственно увеличения доли этих стран в общей структуре поставок в 2013 г. существенно сократились поставки кирпича из Китая. Всего же в 2013 г. поставки керамического кирпича в Россию осуществлялись из 24 стран мира. Доля импортной продукции на российском рынке в 2013 г. составила около 4%, что существенно больше, чем в предыдущие годы.

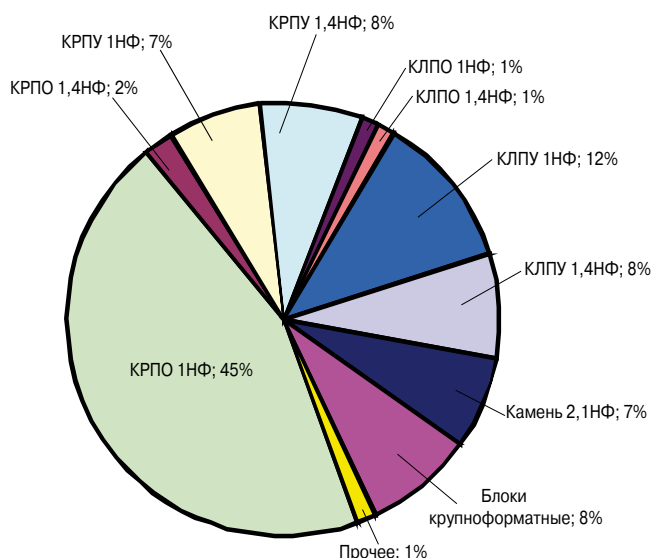


Рис. 4. Товарная структура производства керамических стеновых материалов в 2013 г., %. Источник: оценка «ГС-Эксперт» на основе данных предприятий

Объемы экспорта керамического кирпича и блоков российскими компаниями, как уже отмечалось, были существенно ниже объемов импорта данной продукции. При этом необходимо отметить, что доля зарубежных поставок в последние шесть лет не превышала 1% от общего объема производства керамического кирпича в России. Таким образом, экспортные поставки не оказывали существенного влияния на состояние российского рынка этой продукции.

Поставки российского керамического кирпича осуществляются в ограниченное число стран, преимущественно в страны СНГ. Больше всего российского кирпича поставляется в Казахстан – более 28 млн шт. усл. кирпича в 2013 г., что составило порядка 89% от общего объема российского экспорта этой продукции.

По итогам 2011 г. потребление керамического кирпича в России превысило докризисный уровень. При этом в 2010–2012 гг. темпы роста потребления были достаточно высокими. И если существенный рост потребления в 2010 г. можно было объяснить эффектом «низкой базы» кризисного 2009 г., то в 2011–2012 гг. высокие темпы роста спроса на кирпич были связаны в основном активизацией жилищного строительства, в том числе индивидуального. В 2013 г. потребление этой продукции осталось на уровне, близком к уровню предыдущего года (рост составил всего 1,1%). При этом, как отмечено выше, в последние годы наблюдается тенденция существенного роста объемов импорта кирпича (рис. 6).

Проанализировав данные о структуре межрегиональных поставок кирпича, можно отметить, что в 2013 г. в шести из восьми федеральных округов наблюдался дефицит этого вида строительных материалов, покрываемый преимущественно за счет импорта, а также за счет поставок из других регионов России. Положительный баланс производства-потребления наблюдается только в Приволжском и Сибирском округах.

В результате проведенной комплексной оценки региональной структуры потребления (с учетом данных об объемах работ, выполненных в регионах России по виду деятельности «Строительство», данных об объемах строительства жилых домов и о структуре строительства жилых домов по материалам стен) можно сделать вывод, что основной объем потребления керамических стеновых материалов в России приходится на долю Центрального и Приволжского федеральных округов.

#### Рыночные доли керамических стеновых материалов и продуктов-заменителей в разрезе федеральных округов

Округ	Доля стеновых материалов на рынке, %		
	Керамические стеновые материалы	Силикатные стеновые материалы	Блоки из ячеистого бетона
РФ	50	22	28
ЦФО	40	20	40
СЗФО	54	14	32
ЮФО	64	16	21
СКФО	64	25	11
ПФО	46	33	20
УФО	54	19	27
СФО	70	11	19
ДВФО	66	28	6

**Примечание.** Выделены регионы, в которых доля указанных применяемых стеновых материалов превышает среднюю величину в целом по РФ. Источник: оценка «ГС-Эксперт».

На долю указанных регионов в 2013 г. пришлось порядка 52% общероссийского потребления кирпича, что в натуральном выражении составляет порядка 4 млрд шт. усл. кирпича. Наименьшие объемы потребления традиционно характерны для Дальневосточного и Северо-Кавказского федеральных округов (рис. 7).

Для оценки рыночных долей керамических стеновых материалов и продуктов-заменителей (силикатный кирпич и блоки, блоки из ячеистого бетона, включая газобетон, газосиликат, пенобетон) данные об объемах их производства и потребления были приведены к единой условной единице измерения – 1 м<sup>3</sup> кладки, что позволило сопоставить данные, учитываемые в различных единицах измерения. Для оценки структуры потребления был проведен комплексный анализ данных об объемах строительства жилых и нежилых зданий, данные о материалах стен жилых домов, объемах производства стеновых материалов, внешнеторговых поставок, межрегиональных поставок. Данный анализ проведен как в целом по стране, так и в разрезе федеральных округов.

В результате проведенного анализа эксперты пришли к выводу, что в целом по России на долю керамических стеновых материалов приходится около 50%. При этом в различных регионах страны доля керамических стеновых материалов в структуре потребления существенно варьируется (от 40 до 79%). Наибольшая доля применения керамических стеновых материалов – около 70% отмечена в Сибирском федеральном округе, наименьшая – в Центральном (см. таблицу).

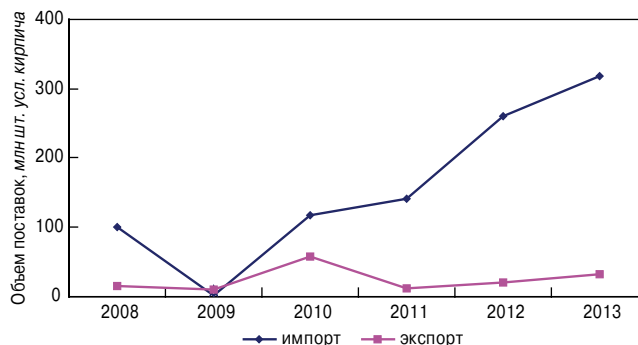
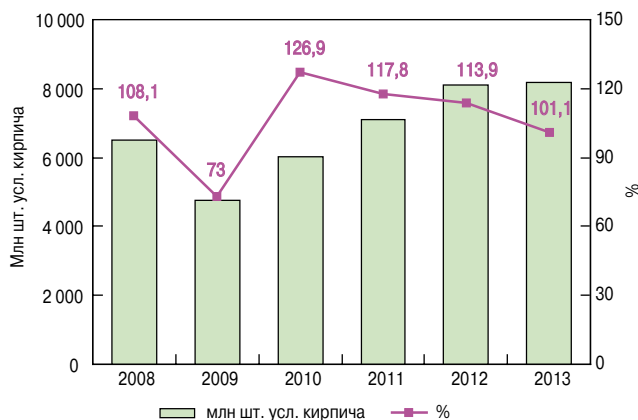


Рис. 5. Динамика внешнеторговых операций с керамическими стеновыми материалами в 2008–2013 гг., млн шт. усл. кирпича. Источник: оценка «ГС-Эксперт» на основе данных ФТС РФ, Белстата и КТК МФ РК



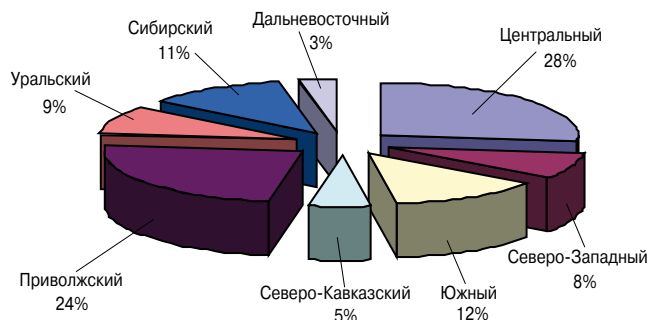
**Рис. 6.** Динамика изменения «видимого» потребления керамических стеновых материалов в России в 2008–2013 гг., млн шт. усл. кирпича, %. Источник: оценка «ГС-Эксперт» на основе данных Росстата и ФТС РФ

Как уже отмечалось выше, спрос на керамические стеновые материалы в России практически в полном объеме удовлетворяется за счет внутреннего производства. Несмотря на рост объемов импортных поставок в последние годы, доля импортной продукции на российском рынке не превышает 5% и не оказывает существенного влияния на рыночную ситуацию. Исключение составляют только некоторые региональные рынки.

Вместе с тем следует отметить, что в последние годы в отрасли активно ведется модернизация действующих и строительство новых производственных мощностей. При этом средняя загрузка действующих мощностей, по данным Росстата, составляет около 65%.

Достаточно низкая загрузка мощностей в условиях прогнозируемого дальнейшего ввода новых предприятий и снижения темпов роста спроса на кирпич в ближайшие годы приведет к дальнейшему усилению конкуренции на рынке и будет оказывать сдерживающее влияние на рост цен для конечного потребителя. Одновременно с этим, очевидно, будет снижаться и рентабельность производства.

Влияние новых субъектов Федерации (Республика Крым и г. Севастополь) на развитие рынка керамических стеновых материалов в 2014 г. практически не скажется ввиду многих правовых и юридических вопросов, без решения которых невозможно активное привлечение инвестиций в строительство и промышленность строительных материалов этих регионов. Еще одним важным аспектом, ограничивающим вероятность активизации инвестиционной деятельности в промышленности строительных материалов региона, является энергетическая зависимость от Украины. В настоящее время в Крыму действуют всего три кирпичных завода, суммарно производящие менее 10 млн шт. усл. кирпича в год. Все предприятия производят только рядовой полнотелый кирпич. Загрузка мощностей составляет не более 25–30%. По прогнозам специалистов «ГС-Эксперт», в регионе возможно дальнейшее развитие керамического производства и создание современных заводов, выпускающих крупноформатные керамические блоки и качественный облицовочный кирпич. Запасы сырья для производства керамических стеновых материалов в Республике Крым составляют порядка 33,6 млн м<sup>3</sup>. Балансом запасов учтено 11 месторождений и 1 комплексный объект учета. К категории разрабатываемых отнесены 4 месторождения и 1 объект учета с суммарными запасами категорий А+В+С<sub>1</sub> 9,4 млн м<sup>3</sup>, т. е. в регионе имеется возможность как создания новых производственных мощностей, так и поглощения действующих предприятий с их



**Рис. 7.** Региональная структура потребления керамических стеновых материалов в России в 2013 г., %. Источник: оценка «ГС-Эксперт»

сырьевой базой. Однако, по прогнозам, активное развитие строительного комплекса региона начнется не ранее 2015–2016 г.

В прогнозном периоде, как и прежде, спрос на керамические стеновые материалы в России будет удовлетворяться отечественными производителями, а доля импортной продукции на российском рынке не превысит 3–4%. Более того, в 2014 г. мы прогнозируем существенное сокращение объемов ввоза этой продукции из европейских стран ввиду значительного роста курса евро к рублю (около 10%), что снижает ее конкурентоспособность.

Таким образом, при благоприятном развитии экономической ситуации в стране в 2016 г. потребление керамических стеновых материалов может достигнуть 9 млрд шт. усл. кирпича. Среднегодовые темпы роста потребления в этом случае составят 1,6–4,7%.

При реализации пессимистического сценария объем потребления данной продукции не превысит 8,4 млрд шт. усл. кирпича, а среднегодовые темпы роста — до 1,8%.

## GS-EXPERT

исследования рынков  
минерального сырья и стройматериалов

---

Специализируется на проведении маркетинговых исследований и мониторинге рынков в области строительных материалов и минерального сырья в России и ряде стран СНГ.

Осуществляет постоянный мониторинг и всесторонний анализ текущей ситуации и основных тенденций на рынках исследуемой продукции, включая анализ данных о ее производстве и потреблении, экспортно-импортных поставках, сырьевой базе, состоянии ведущих участников рынка, а также законодательства, касающегося этих отраслей.

Предлагаем готовые аналитические обзоры рынков, проведение исследований по вашим индивидуальным заказам, а также услуги по мониторингу цен и объемов поставок продукции (внутренние поставки и анализ ВЭД) на ежемесячной или ежеквартальной основе.

Выполнены работы по:

- минеральному сырью: гипсовому камню, полевому шпату, различным видам глин, стекольным и формовочным пескам, карбонатным породам (доломиту, мелу, известняку), кварцу, бентониту, волластониту, диатомиту и др.;
- строительным материалам: цементу, извести, гипсу, листовому стеклу, щебню, гравии, теплоизоляционным и кровельным материалам, архитектурному профилю из алюминиевых сплавов и ПВХ, кирпичу, ячеистому бетону и др.

---

125047, Москва,  
1-й Тверской-Ямской пер., д. 18, оф. 230  
Тел: (499) 250-48-74, (916) 507-83-77,  
факс: (499) 250-48-74  
www.gs-expert.ru E-mail: info@gs-expert.ru

УДК 691.4:658.567.1

А.Ю. СТОЛБОУШКИН, канд. техн. наук (stanyr@list.ru)

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

## Влияние добавки волластонита на формирование структуры стеновых керамических материалов из техногенного и природного сырья

Приведены результаты исследований возможности применения волластонитовой руды в качестве корректирующей добавки в керамическую шихту на основе техногенного и природного сырья. Установлено общее количество игольчатых частиц после помола волластонитовой руды и зависимость их формы от размера фракций. Выявлено, что введение добавки волластонита приводит к снижению огневой усадки для всех видов используемого сырья. Определено влияние тонкодисперсной добавки волластонитовой руды на формирование структуры стеновых керамических материалов из шламистой части отходов обогащения железных руд, отходов углеобогащения и новокузнецкого суглинки. При жидкофазном спекании игольчатые частицы волластонита выполняют армирующую роль и положительно влияют на процессы структурообразования керамических изделий из глинистого сырья и отходов углеобогащения, увеличивая их прочность. В отсутствие глинистых минералов введение добавки волластонита в шихту из шламистых железорудных отходов ухудшает физико-механические свойства стеновой керамики.

**Ключевые слова:** железорудные отходы, отходы обогащения угля, волластонитовая руда, формирование структуры, стеновые керамические материалы.

A.Yu. STOLBOUSHKIN, Candidate of Sciences (Engineering) (stanyr@list.ru)

Siberian State Industrial University (42, Kirova Street, Kemerovo region, Novokuznetsk, 654007, Russian Federation)

### Influence of the Wollastonite Additive on the Structure of Wall Ceramic Materials from Technogenic and Natural Resources

The results of investigations of the possibility of application of wollastonite ore as a corrective additive in ceramic charge based on technogenic and natural materials is offered in current paper. It has been established the total number of acicular particles after grinding wollastonite ore and the dependence of their shape on the size fractions. It was revealed that the grinding of wollastonite additive leads to decrease of the firing shrinkage for all types of used raw materials. The influence of fine wollastonite ore additives on the structure formation of wall ceramic materials produced from the tailings of the slimy iron ore, waste coal and Novokuznetsk's loam were found. During the liquid phase sintering process, wollastonite acicular particles perform the reinforcing role and influence positively on the process of structure formation of pottery clay raw materials and waste coal. The introduction of wollastonite additives in charge of slimy iron ore wastes impairs the physical and mechanical properties of wall ceramics within the absence of clay minerals.

**Keywords:** iron ore wastes, coal wastes, wollastonite ore, structure forming, wall ceramic materials.

Современное производство стеновых керамических материалов практически не обходится без корректировки глинистого сырья. Введение добавок позволяет регулировать формовочные, сушильные, обжиговые свойства керамических масс и обеспечивает выпуск высококачественных изделий, отвечающих нормативным требованиям. Одной из корректирующих добавок является волластонит, который, имея игольчатую структуру, выступает микроармирующим элементом в керамических смесях [1, 2].

Актуальность применения волластонита обусловлена возросшими требованиями к качеству керамического кирпича, сокращением запасов кондиционных глин и расширением сырьевой базы за счет использования тощего, чувствительного к сушке глинистого сырья и минеральных промышленных отходов. Так, добавление волластонита в состав шихты повышает прочность стеновой керамики, сокращает продолжительность обжига, уменьшает количество брака при сушке и обжиге изделий [3]. Введение добавки улучшает не только прочностные характеристики продукции, но и позволяет экономить на процессах сушки и обжига [4].

Исходя из литературных данных в керамической промышленности используется концентрат, в котором содержание волластонита должно быть не менее 80%, а примесь кальцита не должна превышать 5% [5].

Целью настоящей работы являлось исследование влияния добавки волластонитовой руды на процессы структурообразования и свойства стеновых керамических материалов из техногенного и природного сырья.

В качестве основообразующего компонента керамических шихт использовались три разновидности сырьевых материалов, расположенных на юге Кемеровской области (г. Новокузнецк): шламистая часть отходов обогащения железных руд Абагурской обогатительно-агломерационной фабрики (АОАФ); отходы углеобогащения Абашевской ЦОФ; новокузнецкий суглинок.

Химический и гранулометрический составы указанных видов техногенного и природного сырья приведены в статьях [6, 7].

Минеральный состав железорудных отходов представлен полевыми шпатами, кварцем, слюдой, пироксеном, амфиболами, хлоритами железистого типа с неболь-

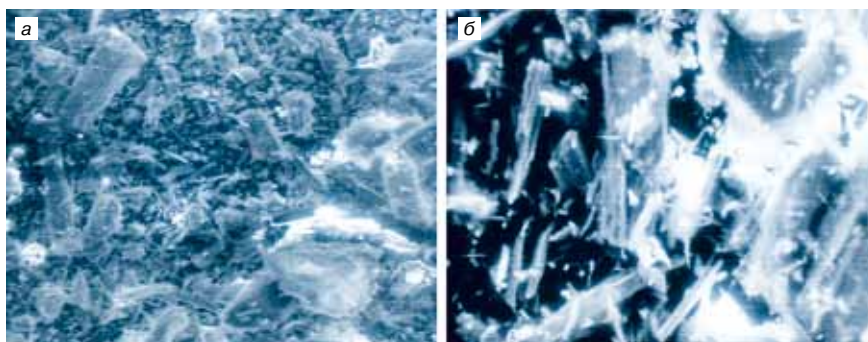


Рис. 1. Микрофотографии волластонита, электронный микроскоп: увеличение  $\times 100$  (а),  $\times 500$  (б)

Таблица 1

Массовая доля компонентов, % (на абсолютно сухое вещество)										
SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	ППП
53,5	38,6	1,2	2,05	0,75	0,11	0,16	0,85	0,03	0,17	2,8

Таблица 2

Волластонитовая руда перед помолом						
Размер, мм	>2,5	2,5–1,25	1,25–0,63	0,63–0,315	0,63–0,16	<0,16
Содержание фракций, %	30–35	10–15	10–12,5	10–12,5	12–15	12–14
Измельченная волластонитовая руда						
Размер, мм	>0,315	0,315–0,2	0,2–0,125	0,125–0,1	0,1–0,08	<0,08
Содержание фракций, %	25,6–36,6	23,7–29,8	17,7–18,5	11,2–12,9	5,04–8,4	4,97–5,6

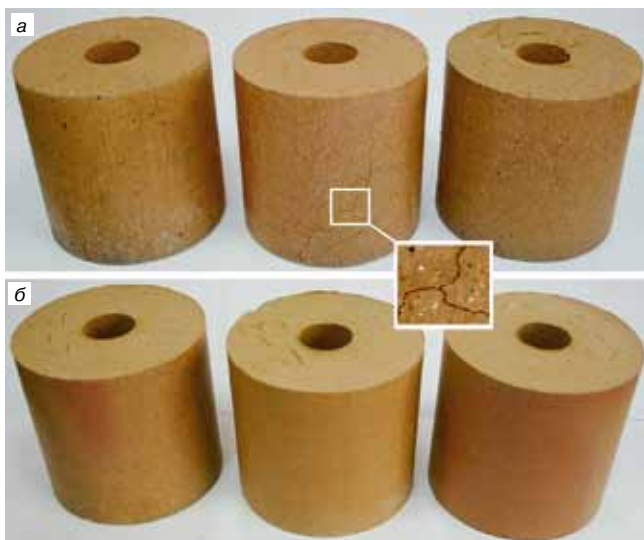


Рис. 2. Керамические образцы из гранулированных на турболопастном смесителе-грануляторе смесей на основе отходов углеобогащения Абашевской ЦОФ без добавки (а) и с добавкой 10 мас. % волластонита (б)

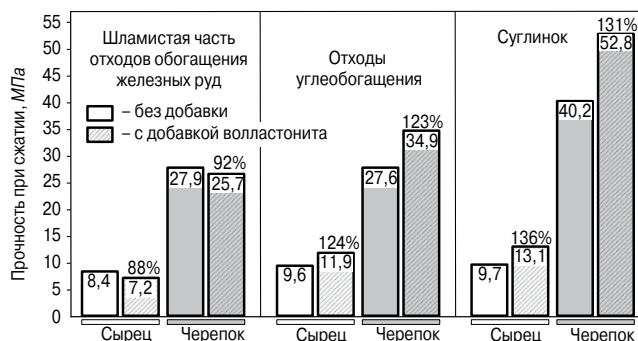


Рис. 3. Диаграмма зависимости прочности керамических образцов от техногенного и природного сырья от добавки волластонита

шим содержанием глинистых смешанослойных образований. Материал тонкодисперсный, малопластичный с низкой чувствительностью к сушке, по огнеупорности относится к легкоплавкому, по температуре и степени спекания – к высокотемпературному и неспекающемуся сырью. Отходы углеобогащения Абашевской ЦОФ состоят из гидромусковита, кварца, плагиоклаза, монтмориллонита, хлорита, сидерита, кальцита и содержат свободный углерод в количестве от 8 до 22%. Суглинок относится к умереннопластичному сырью гидрослюдисто-монтмориллонитового типа.

В качестве корректирующей добавки использовалась волластонитовая руда Синюхинского месторождения (Алтайский край), содержащая 50–75% волластонита – природного силиката кальция с химической формулой CaSiO<sub>3</sub>. Основной примесью является гранат-гроссуляр (25–50%), в небольших количествах присутствует кварц и кальцит (5–7%). Цвет руды белый с сероватым или буроватым оттенком.

Структура волластонита характеризуется повторяющимися, переплетенными тройными четырехгранниками кварца. Цепочки, формируемые этими кварцевыми четырехгранниками, соединены по сторонам через атом кальция, образуя восьмигранники. Благодаря такой структуре (рис. 1) волластонит сохраняет игольчатую форму частиц при расщеплении. Высокая плотность кварцевых цепочек обеспечивает твердость этого минерала (4,5–5 по Моосу).

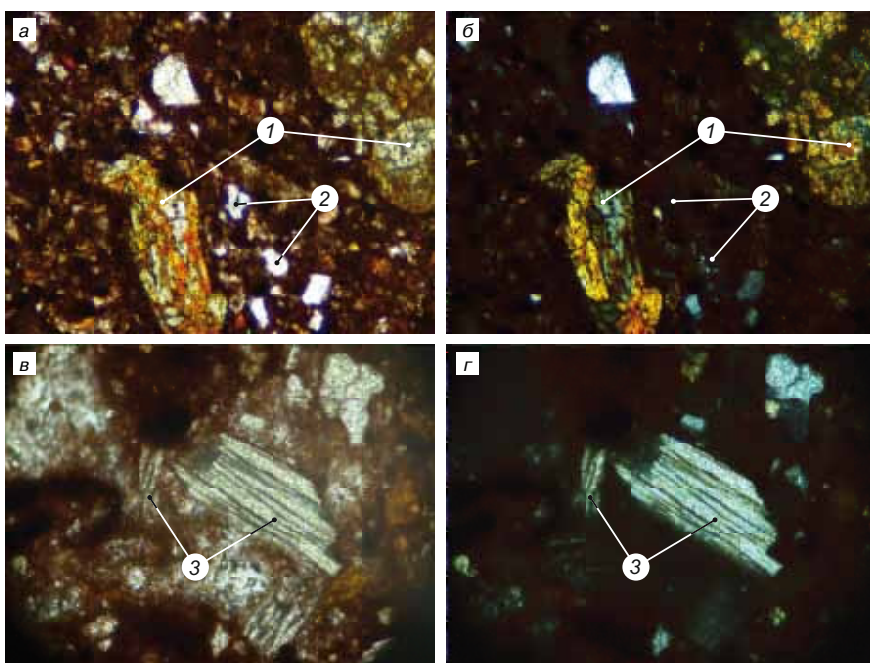


Рис. 4. Микрофотографии шлифов керамического черепка на основе шламистой части железорудных отходов без добавки (а, б) и с добавкой (в, г) волластонита. Проходящий свет, ×100, николи II (а); николи + (б); ×200, николи II (в); николи + (г): 1 – пироксен; 2 – поры; 3 – волластонит

Небольшое количество кальция может замещаться железом, магнием, марганцем, алюминием, калием и натрием [8].

В работе проводились исследования по помолу руды с целью получения тонкодисперсной добавки на лабораторно-промышленной установке фирмы «Баскей» (г. Новосибирск). Химический состав измельченной волластонитовой руды представлен в табл. 1, содержание фракций до и после помола – в табл. 2.

После помола волластонитовой руды общее количество игольчатых частиц составляет от 35 до 40%. При этом отношение длины частиц к диаметру меняется от 2 до 6. Приближение частиц по форме к игольчатой увеличивается с уменьшением размера фракций. Благодаря игольчатому строению тонкомолотая волластонитовая руда пригодна для использования в качестве микроармирующего компонента для производства композиционных керамических материалов.

Пустотелые керамические образцы диаметром 65 мм и высотой 65–70 мм формовались разработанным способом из гранулированных шихт. Технология получения керамических матричных композитов ячеисто-заполненной структуры приведена в статье [9]. Особенностью получаемых керамических изделий явилось то, что все они были изготовлены на основе тонкодисперсных отходов с добавкой волластонитовой руды, предварительно загранулированных и покрытых тонким слоем глинистого сырья, подвергнутого механоактивации. Влажность пресс-порошка составляла 9,5–11,4%. Режим прессования двухступенчатый с односторонним приложением нагрузки, давление прессования 15–17 МПа. Обжиг проводился при температуре 1000–1050°C. Составы сырьевых шихт и параметры грануляции керамических пресс-масс представлены в табл. 3.

Результаты испытаний физико-механических свойств образцов из гранулированного техногенного и природного сырья с добавкой волластонитовой руды приведены в табл. 4. Как показали результаты исследований, введение добавки волластонита в количестве 10% приводит к снижению огневой усадки для всех видов используемого сырья, что положительно сказывается на отсутствии обжиговых трещин при скоростном обжиге керамических образцов из отходов углеобогащения (рис. 2).

Сравнение прочностных показателей высушенного сырья и керамического черепка из сырьевых смесей без добавки и с добавкой волластонитовой руды графически представлено на рис. 3. Введение добавки волластонита при грануляции шламистых железорудных отходов снижает предел прочности при сжатии образцов до и после обжига в среднем на 10%. Наоборот, прочность

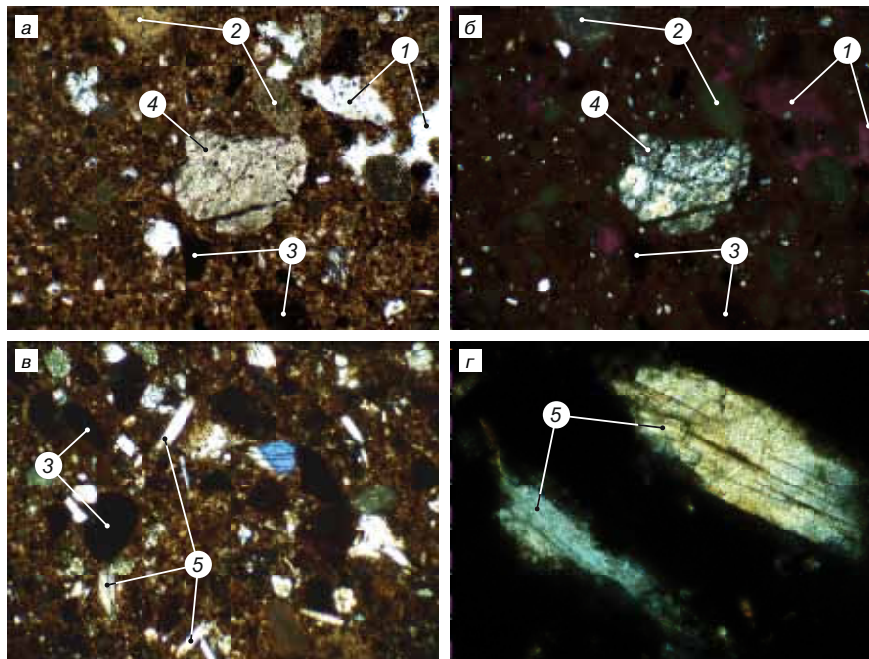


Рис. 5. Микрофотографии шлифов керамического черепка на основе отходов углеобогащения без добавки (а, б) и с добавкой волластонитовой руды (в, г). Проходящий свет,  $\times 50$ : николи II (а, в); николи + (б);  $\times 200$ , николи + (г): 1 – поры; 2 – полиминеральное мелкокристаллическое вещество; 3 – непрозрачные обособления бурого и темного цветов; 4 – реликтовый минерал полевого шпата; 5 – волластонит

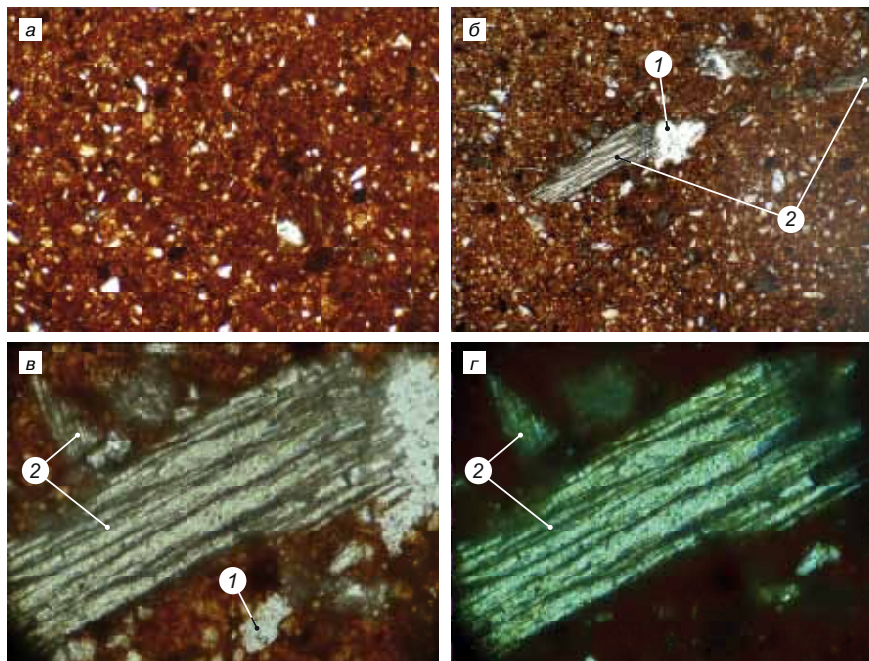



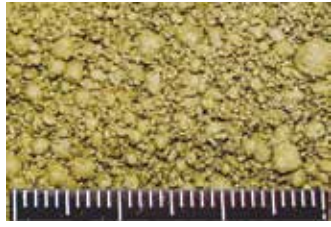

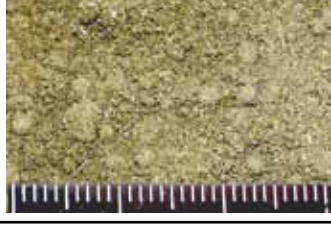

Рис. 6. Микрофотографии шлифов керамического черепка на основе суглинка без добавки (а) и с добавкой волластонитовой руды (б, в, г). Проходящий свет,  $\times 50$ : николи II (а, б);  $\times 200$ : николи II (в); николи + (г): 1 – поры; 2 – волластонит

высушенных и обожженных образцов на основе отходов углеобогащения с введением добавки увеличивается на 23–24% и возрастает более чем на 30% при использовании природного глинистого сырья.

Неоднозначный характер влияния добавки волластонита на физико-механические свойства образцов можно объяснить особенностями вещественного состава и технологических свойств используемого при проведении исследований техногенного и природного сырья. Ухудшение прочностных показателей образцов обусловлено тем, что шламистая часть отходов обогащения железных руд является малопластичным материалом и



**Таблица 3**

№ шихты	Состав шихты, мас. %	Влажность гранулята, %	Скорость лопастей, об/мин*	Время, мин	Вид гранулята
1	Шламистая часть отходов обогащения железных руд АОАФ – 80 Новокузнецкий суглинок – 20	11,4	850	3	
2	Шламистая часть отходов обогащения железных руд АОАФ – 70 Новокузнецкий суглинок – 20 Волластонитовая руда – 10	11,1	850	3,5	
3	Отходы углеобогащения Абашевской ЦОФ – 80 Новокузнецкий суглинок – 20	9,5	1000	3	
4	Отходы углеобогащения Абашевской ЦОФ – 70 Новокузнецкий суглинок – 20 Волластонитовая руда – 10	9,8	1000	3,5	
5	Новокузнецкий суглинок – 100	10,3	850	3	
6	Новокузнецкий суглинок – 90 Волластонитовая руда – 10	10,7	850	3,5	

**Примечание:** \* турболопастной смеситель-гранулятор ТЛ-020 К01.

практически не содержит глинистых минералов. Введение волластонита не способствует сцеплению зерен материала при прессовании. При обжиге в теле гранул не происходит увеличения количества пиропластичной фазы из-за высокой температуры плавления волластонита.

Использование волластонита в отходах углеобогащения, имеющих умеренную пластичность и содержащих глинистые минералы, приводит к микроармированию материала в зоне контакта гранул, снижению усадочных деформаций и обеспечивает улучшение эксплуатационных свойств керамического черепка, как и в случае с природным глинистым сырьем, что подтверждается результатами других экспериментальных исследований [10].

Изучение структуры керамического черепка на основе техногенного сырья проводилось на шлифах в проходящем поляризованном свете при параллельных и скрещенных николях и представлено на рис. 4–6.

Во всех сериях керамических образцов, изготовленных из гранулированных шихт с добавкой волластонитовой руды, можно отчетливо видеть игольчатые частицы волластонита, нередко параллельно спаянные между собой (рис. 4, 5, 6, 2).

Частицы волластонита в керамическом черепке на основе шламистой части отходов обогащения железных руд четко обособлены, имеют выраженные поверхности раздела без оплавленных граней и форм (рис. 4, 2), что можно объяснить отсутствием или малым количеством пиропластичной фазы, формирующейся вокруг них. По этой причине введение добавки волластонита не приводит к увеличению прочностных характеристик материала.

Напротив, в сериях образцов на основе углеотходов и природного глинистого сырья формируется достаточное количество легкоплавких эвтектик и жидкофазное спекание более выражено в виде оплавленной поверхности иголок волластонита, частично взаимодействующей

Таблица 4

№ шихты*	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водопоглощение, %	Прочность при сжатии, МПа		Огневая усадка, %	ККК	Примечание
			сырец	черепок			
1	1880	13,4	8,41	27,9	1,82	14,8	
2	1890	15	7,42	25,67	1,01	13,6	
3	1620	14,3	9,62	27,6	2,36	17	Обжиговые трещины
4	1680	13,4	11,94	34	1,07	20,2	
5	1880	13,7	9,65	40,17	4,5	21,4	
6	1910	13	13,13	52,8	3,6	27,6	

**Примечание:** \* порядковые номера и составы шихты соответствуют табл. 3.

щей со стеклофазой (рис. 5, з; 6, з). Таким образом, происходит армирование расплава иголками волластонита с последующим формированием композитной структуры, что приводит к повышению прочности изделий.

Результаты исследований влияния добавки волластонитовой руды на процессы структурообразования и свойства стеновых керамических материалов из техногенного и природного сырья позволили сделать следующие выводы:

– волластонит, вводимый в качестве добавки, не участвует в твердофазных реакциях и формировании

новых минеральных фаз при обжиге стеновой керамики на основе техногенного сырья;

- при грануляции малопластичных железорудных отходов введение волластонита снижает предел прочности при сжатии образцов до и после обжига в среднем на 10%;
- при жидкофазном спекании игольчатые частицы тонкодисперсной волластонитовой руды выполняют армирующую роль и положительно влияют на процессы структурообразования керамических изделий из глинистого сырья и отходов углеобогащения, увеличивая прочность изделий на 20–30%.

#### Список литературы

- Тюльнин В.А., Ткач В.Р., Эйрих В.И., Стародубцев Н.П. Волластонит – уникальное минеральное сырье многоцелевого назначения. М.: Издательский дом «Руда и металлы», 2003. 144 с.
- Ciullo P., Robinson S. Wollastonite – versatile functional filler. *Paint and Coatings Industry*. 2009. No. 11, pp. 50.
- Козырев В.В. Сырьевая база волластонита для керамической промышленности // *Промышленность строительных материалов. Сер. 5. Керамическая промышленность: Обзорная информ.* М.: ВНИИЭСМ, 1989. Вып. 2. С. 1–68.
- Рохваргер Е.Л., Белопольский М.С., Добужинский В.И. и др. Новая технология керамических плиток. М.: Стройиздат, 1997. 232 с.
- Матвеев М.А., Нуруллаев З.П. О применении волластонита для производства лицевого эффективной керамики // *Сб. трудов ВНИИСтром*, 1968. Вып. 13. С. 12–22.
- Столбоушкин А.Ю., Стороженко Г.И. Необходимость и перспективы утилизации шламистых железорудных отходов Кузбасса в технологии стеновых керамических материалов // *Строительные материалы*. 2009. № 4. С. 77–80.
- Столбоушкин А.Ю., Иванов А.И., Дружинин С.В., Зоря В.Н., Злобин В.И. Особенности поровой структуры стеновых керамических материалов на основе углеотходов // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 46–51.
- Карапетьянц М.Х. Общая и неорганическая химия. М.: Химия, 1981. 632 с.
- Столбоушкин А.Ю. Теоретические основы формирования керамических матричных композитов на основе техногенного и природного сырья // *Строительные материалы*. 2011. № 2. С. 10–13.
- Kurczyk H.G. Diopsid and wollastonite synthetische Rohstoffe fur die Keramik. 11. Anwendung von synthetischen Erdalkalisilicaten in keramischen Massen // *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft*. 1978. Vol. 55. No. 5, pp. 262–265.

#### References

- Tyul'nin V.A., Tkach V.R., Eirikh V.I., Starodubtsev N.P. Wollastonite – unikal'noe mineral'noe syr'e mnogotsel'evogo naznacheniya. [Wollastonite – unique mineral for all-purpose use]. Moscow: Publishing House «Ruda i metally». 2003. 144 p. (In Russian).
- Ciullo P., Robinson S. Wollastonite – versatile functional filler. *Paint and Coatings Industry*. 2009. No. 11, pp. 50.
- Kozyrev V.V. Raw source of wollastonite for ceramic industry. *Building materials industry. Series 5. Ceramic industry: Review info.* M.: VNIIESM. 1989, Issue 2, pp. 1–68. (In Russian)
- Rokhvarger E.L., Belopol'skii M.S., Dobuzhinskii V.I. etc. Novaya tekhnologiya keramicheskikh plitok. [New technologies of ceramic tiles]. Moscow: Stroizdat. 1997. 232 p. (In Russian).
- Matveev M.A., Nurullaev Z.P. About application of wollastonite for front effective ceramic production. *Sbornik trudov VNIISTrom* [VNIISTrom Proceedings]. 1968, Issue 13, pp. 12–22. (In Russian).
- Stolboushkin A.Yu., Storozhenko G.I. The use of slime iron-ore waste of Kuzbass in technology of wall ceramic materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 4, pp. 77–80. (In Russian).
- Stolboushkin A.Yu., Ivanov A.I., Druzhinin S.V., etc. Pore structure characteristics of wall ceramics made from waste coal. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 46–51. (In Russian).
- Karapet'yants M.Kh. Obshchaya i neorganicheskaya khimiya [General and inorganic chemistry]. Moscow: Chemistry. 1981. 632 p. (In Russian).
- Stolboushkin A.Yu. Theoretical bases of ceramic matrix composites forming based on technogenic and natural raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No 2, pp. 10–13. (In Russian).
- Kurczyk H.G. Diopsid and wollastonite synthetische Rohstoffe fur die Keramik. 11. Anwendung von synthetischen Erdalkalisilicaten in keramischen Massen. *Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft*. 1978. Vol. 55. No. 5, pp. 262–265.

## Новый проект компании «КЕЛЛЕР ХЦВ» (Германия) —

## вклад в защиту окружающей среды и рациональное использование ресурсов

«КЕЛЛЕР ХЦВ» переоснащает туннельную печь на использование нового источника энергии – биогаза

В 2010 г. компания «КЕЛЛЕР ХЦВ» (г. Иббенбюрен-Лаггенбек, Германия) совместно с концерном «Легри Индастриз», в состав которого она входит, создали новый проект под названием **Sustainability** (экологическая рациональность). Целью данного проекта является поддержка и укрепление позиций всех принадлежащих концерну компаний в отношении рациональной с точки зрения экологии деятельности. Согласно новой стратегии компании обязаны наряду с социальными и экономическими аспектами в рамках своей деятельности в равной степени учитывать и экологические факторы.



Факел биогаза на мусорной свалке

Конкретный пример реализации данной идеи представила фирма «КЕЛЛЕР ХЦВ» в своем новом проекте по переоснащению печи на кирпичном заводе в Австралии. В 2010 г. руководство кирпичного завода Austral Bricks в г. Сидней обратилось к фирме «КЕЛЛЕР ХЦВ» с вопросом о возможности использования биогаза для обжига продукции в туннельной печи. Старые глиняные карьеры, принадлежащие Austral Bricks, в последние годы использовались как полигоны для мусора. Биогаз должен был сжигаться без использования его энергетических свойств. Кирпичный завод Austral Bricks совместно с мусороперерабатывающей компанией Veolia решили продвинуть идею рационального использования биогаза. Фирма «КЕЛЛЕР ХЦВ» оказалась подходящим партнером, разработавшим и реализовавшим соответствующее техническое решение.



Газовая установка с воздухоподдувками и теплообменниками для подготовки газа (справа)



Подвод биогаза в контейнер с последующей подачей его к туннельной печи с газовым счетчиком

Для реализации данного проекта компания «КЕЛЛЕР ХЦВ» разработала воздухоподдувную установку, которая не только подает входное давление на группы горелок туннельной печи, но и удаляет влагу из биогаза. Кроме того, «КЕЛЛЕР ХЦВ» переоборудовала четыре группы горелок на дуальные группы газовых горелок. Эти четыре группы горелок дают возможность сгорания  $225 \text{ м}^3$  биогаза в час с объемом вырабатываемой энергии ок.  $5,6 \text{ kWh/m}^3\text{N}$  на каждую. Благодаря такому переоснащению завод Austral Bricks сможет в будущем произвольно выбирать источник энергии – природный газ или биогаз. Через три недели после переоборудования в ноябре 2013 г. новая установка была введена в эксплуатацию. В настоящее время три группы горелок из четырех эксплуатируются с природным газом. Эксплуатация четвертой группы планируется в ближайшем будущем. Если ожидания касательно уровня доходов от использования биогаза оправдаются, остальные группы горелок будут также переведены на дуальный режим работы, который является наиболее экологически рациональным. Участники проекта выразили глубочайшее удовлетворение от достигнутых результатов сотрудничества в рамках защиты окружающей среды. Разработка установки оказалась выгодной сделкой для всех заинтересованных сторон. Благодаря рациональному использованию биогаза выброс углекислого газа снижается как минимум на 3500 т в год.

Биогаз – сгораемый газ, который образуется на свалках мусора в результате расщепления органических веществ. Из-за высокого содержания метана, выброс биогаза в атмосферу является крайне вредным для окружающей среды. Поэтому мусорные свалки с неконтролируемыми выбросами газов занимают первое место в списке самых вредных источников загрязнения окружающей среды, вырабатывающих метан. Предприятия, эксплуатирующие мусорные свалки, обязаны следить за объемом вырабатываемого биогаза и обезвреживать его. В идеальном случае биогаз можно применять в качестве источника энергии. Ведь теплотворная способность биогаза в половину меньше теплотворности природного газа.

## Компания «КЕЛЛЕР ХЦВ» отметила выход первой вагонетки из туннельной печи «Дубёнского кирпичного завода» (Республика Мордовия).

12 июня 2014 г., в День России директор нового предприятия «Дубёнский кирпичный завод» Сергей Алексеевич Строителей и многочисленные гости торжественно отпраздновали выход первой вагонетки с обожженной продукцией из туннельной печи. Этот день – 12 июня, являясь официальным праздником всей Российской Федерации, несомненно, останется в памяти и как знаменательное событие в истории развития грубой керамической промышленности Республики Мордовия, особенно для небольшого поселка Дубёнки.

Учитывая значимость этого события, первая печная вагонетка с обожженным кирпичом марки 200 была по традиции «освящена» шампанским. Этот символический акт может по праву считаться стартом флагманского судна кирпичной промышленности в этом регионе Российской Федерации. Продукция завода к большой радости специалистов лаборатории, полностью соответствует новому ГОСТу и готова к реализации.

В настоящее время «Дубёнский кирпичный завод» мощностью 42,3 млн. шт. НФ в год – самый крупный и современный кирпичный завод в Республике Мордовия, и в скором времени благодаря гибкости производственной линии он займет ведущую позицию среди других новейших кирпичных заводов на территории Российской Федерации,



## Компания «КЕЛЛЕР ХЦВ» впервые приняла участие в выставке «Автоматика»



Компания «КЕЛЛЕР» на выставке «Автоматика» в Мюнхене, 2014 г.

2–6 июня 2014 г. в Мюнхене (Германия) прошла специализированная выставка «Автоматика». Компания «КЕЛЛЕР ХЦВ» впервые приняла участие в этом форуме и представила широкой публике свои решения по роботизации и автоматизации производства. Являясь одним из основных партнеров известного производителя роботов – фирмы «ФАНУК», компания «КЕЛЛЕР ХЦВ», благодаря новой, оснащенной серводвигателями системе грейферов привлекла к себе большое внимание на «Желтой арене» – стенде фирмы «ФАНУК», оформленном в стиле футбольного поля Чемпионата мира по футболу в Бразилии.

Говоря об инновационных технических решениях и имея на счету уже более 500 работающих на производстве роботов компания «КЕЛЛЕР ХЦВ» является признанным авторитетом в сфере грубокерамической промышленности. Однако за пределами этой отрасли компания еще относительно неизвестна. К тому же большую долю реализованных фирмой в других отраслях промышленности проектов запрещено предавать разглашению. В связи с этим компания «КЕЛЛЕР ХЦВ» разработала для «Автоматики» специальную презентацию межотраслевого применения роботов, демонстрирующую ее компетентность во



Руководитель отдела по продажам Ульрих Хагеманн отвечает на вопросы

всех промышленных сферах. Как показали отклики посетителей, это решение было абсолютно верным.

Для отдела по продажам компании «КЕЛЛЕР ХЦВ» участие в выставке также стало успешным. В отличие от выставки CERAMITEC на выставке «Автоматика» основные посетители не высшие управленческие лица компаний, а инженеры и технические специалисты, которые целенаправленно ищут решения для своих предприятий. Демонстрация роботов компании «КЕЛЛЕР ХЦВ» вызвала очень большой интерес у специалистов и помогла наладить много новых контактов. В любом случае презентация на «Желтой арене» удалась. Технические вопросы квалифицированных посетителей отчасти даже выходили за пределы, известные по другим выставкам грубокерамической промышленности. Но во многих случаях это, пожалуй, даже облегчило сотрудникам компании процесс переубеждения. Ведь инженеры общаются между собой на совершенно особом языке.

Большое впечатление на многих заинтересованных посетителей произвели также общие концепции управления, разработанные компанией «КЕЛЛЕР ХЦВ». Здесь у компании на руках находится важнейший козырь, которым она должна еще более умело воспользоваться в будущем!

# LINGL:

## новое руководство и новые сферы деятельности

В начале 2014 г. компания «Ханс Лингл Анлагенбау унд Ферфаренстехник» укрепила свои позиции благодаря назначению на должность руководителя г-на **Лауренца Авербека**.

Лауренц Авербек родился в 1957 г., свою карьеру начал в качестве дипломированного инженера в отделе проектирования фирмы-производителя машин и оборудования «Келлер ХЦВ» г. Иббенбюрен-Лаггенбек. В течение многих лет являясь руководителем центрального отдела проектирования, а затем руководителем отдела сбыта, с 2007 г. он вошел в состав руководства предприятием, а с марта 2010 г. отвечал за дивизион Келлер, включающий в себя предприятия Келлер ХЦВ, Новосерик, Морандо и Ритер Верке. В лице г-на Авербека, обладающего многолетним опытом, фирма «Лингл» приобрела ценного и эрудированного сотрудника.

В дальнейшем г-н Авербек и г-жа Лютценбергер разделяют между собой задачи по управлению предприятием. При этом в круг полномочий г-на Авербека будет входить сфера техники и сбыта, а г-жа Лютценбергер займет пост коммерческого руководителя фирмы.

Франк Аппель и Андреас Лингл сосредоточат внимание на своей роли в качестве акционеров и будут представлять фирму на рынке.

Фирма «Лингл» хочет добиться долгосрочного закрепления успеха, в том числе с помощью новых сфер деятельности.

В связи со сложностями последних лет фирма «Лингл» подверглась обширной реструктуризации. В рамках этого процесса предприятие стало по-новому позиционировать себя на рынке. Новая ориентация наряду с традиционным рынком грубой керамики сфокусирована в основном на развитии новых сфер деятельности, новых рынков, на разработке и использовании ресурсосберегающих технологий.

В дальнейшем фирма «Лингл» будет представлена более разносторонне, следуя «стратегии 4 столпов». Линейка продукции предприятия будет охватывать машины, линии и технологию не только для грубой керамики и промышленности огнеупорных материалов, но и для санитарной и технической керамики.

Россия всегда была и остается для фирмы «Лингл» одним из трех крупнейших в мире рынков с самым высоким уровнем спроса. А благодаря расширению отдела продаж, отвечающего за российский рынок, и увеличению регионов реализации в сторону Сибири и Дальнего Востока внимание к российскому рынку значительно возросло.



Расширение продуктовой линейки согласно «стратегии 4 столпов»



Ротационный автомат резки новой конструкции для ЗАО «Завод строительных материалов»



Линия садки

**Успешная сдача оборудования для ЗАО «Завод строительных материалов», г. Тольятти, (Россия)**

Огромное значение рынка России подтверждает также заказ, полученный в ноябре 2013 г. от ЗАО «Завод строительных материалов».

Существующий завод был оснащен новыми машинами, включая модульный автомат резки ротационного типа, автомат загрузки, соответствующие устройства транспортировки и линию садки с двумя роботами. Недавно разработанный автомат резки ротационного типа, поставленный фирмой «Лингл», – второй в мире. Предпосылкой для его разработки стал постоянный спрос на более экономичную и компактную альтерна-

тиву, с помощью которой можно, так же как на известном многострунным резчике, производить высококачественный лицевой кирпич с фаской и дорожный клинкер.

Линия, поставленная в Россию, была успешно сдана в мае 2014 г. с соблюдением оговоренных сроков и согласованных по контракту параметров производительности. Одним из важных факторов быстрого и успешного исполнения заказа стало слаженное сотрудничество и высокая компетентность специалистов завода. После модернизации, проведенной фирмой «Лингл», появилась возможность достижения максимальной производительности до 12 тыс. шт. усл. кирпича/ч.

**LINGL –**

**Партнер в сфере керамической промышленности**



Ассортимент продукции LINGL

LINGL предлагает решения для всей цепочки формирования стоимости керамической продукции: Наши инженерные услуги, включающие в себя исследования сырья и технологии, а также индивидуальную оптимизацию оборудования и перспективные концепции производства помогают нашим клиентам во всем мире получить конкурентные преимущества.

Наши инновационные продукты отличаются низкими эксплуатационными затратами, очень хорошим качеством производства, превосходной энергетической эффективностью и оптимальным удобством при обслуживании. Наш сервис вносит существенный вклад в сохранение стоимости и долговечность работы Ваших машин и оборудования.

Качество, компетенция и надежность способствуют сохранению длительных партнерских отношений – для сохранения этих ценностей мы работаем для Вас уже более 75лет!

LINGL – качество „Сделано в Германии“

Будем рады встрече с Вами:

**TECNARGILLA**  
 22 – 26 сентября 2014, Италия, Римини  
 павильон D1 – стенд 189  
 Представитель фирмы Lingl в Италии: Fausto Carra  
 тел/факс +39 (0) 376 525 076 / моб. тел. +39 (0) 333 65 61 808  
 an.novita@tricerslinglmac.com



Представительство фирмы „LINGL“ в России и странах СНГ 196 247, Россия, г. Санкт Петербург - Ленинский проспект, дом 160 офис 302 тел/факс +7 812 703 4199 – моб. тел. +7 911 812 2237 - mail: lingl.russia@gmail.com

www.lingl.com

# SABO – Wienerberger. Проекты-2014

В первом полугодии 2014 г. компания SABO S.A. завершила проекты по реконструкции и модернизации заводов для группы Wienerberger в двух странах. Данный факт указывает на тесное сотрудничество между двумя компаниями.



Были завершены два важных проекта: в Швейцарии для компании группы ZZwancor, в России для завода Кипрево I (модернизация первой линии производства).

## WIENERBERGER – ZZWANCOR (Швейцария)

Данный проект – сложная реконструкция завода, требующий значительного опыта и знаний.

Сложность проекта заключалась в сочетании оборудования трех разных поколений, поступающего от трех разных производителей: оборудование со старого завода Wienerberger во Франции (Angervilliers), уже существующее оборудование на заводе Wienerberger и ZZ Wancor в Швейцарии и новое оборудование, которое компания SABO S.A. изготовила и поставила на завод в Швейцарии.

SABO S.A. осуществила данный проект, начиная от предварительных расчетов и исследований, демонтажа оборудования, перевозки оборудования из Франции в Швейцарию, поставки нового оборудования, установки старого и нового оборудования на заводе в г. Istighofen, контролируя и следя за реализацией проекта в течение всего времени.

Объем поставки предусматривал модернизацию оборудования загрузки и разгрузки. Компания SABO S.A. установила робот для разгрузки сухих продуктов на ленточный конвейерный стол для транспортировки сухих материалов до робота-садчика материала на печные вагонетки. Данное оборудование в целом является простым и надежным с высокой производительностью и работает без вмешательства оператора в отличие от большинства оборудования садки на других кирпичных заводах.

На линии разгрузки был установлен робот для разгрузки печных вагонеток, а на линии упаковки – робот, принимающий кирпичи от программного стола и загружающий их на поддон. Компанией



SABO S.A. были выполнены все необходимые модификации существующего оборудования, а также установлено новое, чтобы обеспечить завод современным оборудованием для разгрузки печных вагонеток, которое способно выполнять всю работу в соответствии с новыми потребностями производства.

Все производственные задания были выполнены, и завод работает на полной производственной мощности с начала 2014 г.

## WBI КИПРЕВО I, Россия

В мае 2013 г. компания Wienerberger поручила компании SABO S.A. модернизацию завода Кипрево I во Владимирской области Российской Федерации. Ранее WBI доверила компании SABO S.A. установку линии автоматизации завода Кипрево II.

В середине февраля SABO S.A. успешно завершила проект Кипрево I в соответствии с первоначальным графиком.

Проект включал модернизацию и реконструкцию линии садки и разгрузки для достижения производственной мощности завода 130 млн NF/год на первом этапе и возможность в будущем выйти на производственную мощность 180 млн NF/год.

На линии садки SABO S.A. заменила существующие традиционные захваты загрузки печных вагонеток на роботы, оснащенные специальными захватами для перемещения блоков POROTHERM и кирпичей стандартных форматов (1 NF, 2 NF). Также компанией SABO S.A. был поставлен новый конвейер для транспортировки слоев кирпичей.

На линии разгрузки существующие традиционные захваты были заменены на два робота для разгрузки печных вагонеток и один дополнительный робот для укладки кирпичей послойно на существующие программные столы.

Всего было установлено 6 роботов и 2 стола-транспортера для перемещения запрограммированных слоев кирпичей к роботам загрузки и роботам разгрузки. Обе зоны были перепрограммированы компанией SABO S.A. для возможности новой садки на печные вагонетки.

Данный проект был успешно сдан и все стандарты качества, безопасности и производственной мощности, предусмотренные в проекте компанией WBI, были полностью выполнены, как и во всех совместных проектах SABO S.A. и WBI.



34002 Василико – Халкис – Эвбея – Греция  
Тел.: +30 22210 51805-9, факс: +30 22210 54073  
E-mail: sb\_sales@sabo.gr  
Москва, Ленинский просп. 146, Аструс-Отель, 10-й этаж  
www.sabo.gr

После 70 завершённых проектов по всему миру в течение последних пяти лет...

1984-2014  
**30**  
ЛЕТ



...мы все еще продолжаем сильнее!

**25 ПРОЕКТОВ  
В СТАДИИ  
РЕАЛИЗАЦИИ**

**АЛЖИР**

- BMSD
- Briqueterie Amouri 2
- Briqueterie Djabri 1
- Briqueterie Djabri 2
- Briqueterie Sari Ettu
- Grande Briqueterie Des Oasis
- Sari BGO
- Sari Briqueterie Des Oasis
- Sari El Barakate 2

**РОССИЯ**

- Киинель Черкасский кирпичный завод
- Кирпичный завод на Закаменной

**ПЕРУ**

- Latercer

**СУДАН**

- Urban Development Co

**САУДОВСКАЯ  
АРАВИЯ**

- Al Watania

**МАРОККО**

- Soly Briq Sarl
- Briqueterie Samarra

**ТУНИС**

- Societe Maghrebine de produit Ceramiques

**ТУРЦИЯ**

- Ipek Tugla
- Kilsan
- Yurtbay
- Delta

**ЛИВИЯ**

- Al Nuebat
- Alkalaa Alsoughra
- Sarah Company
- Almokawel Company

**Завершённые проекты в 2014 году**

- Кипрево 1 - Винербергер (Россия) • Halabja Group (Курдистан) • Briqueterie Sari Edhaia (Алжир) • Basak (Турция) • Laminados De Barro (Мексика)
- ZZ Wancor, Wienerberger Group (Швейцария) • Briqueterie Sari Boumerdes (Алжир) • Cemason (Румыния) • Куганакский кирпичный завод (Россия)

Спасибо за доверие и добро пожаловать в нашу семью!



Доверьтесь надёжному партнеру!

До встречи  
на выставке



Павильон А5  
Номер стенда 161



SABO S.A. 34002 Василико - Халкис - Эвбея - Греция, Тел.: +30 22210 51805-9, Факс: +30 22210 54073  
SABO S.A. в России: Москва, Ленинский проспект 146, Аструс Отель, 10 этаж, Тел.: +7-917-763-95-69

e-mail: sb\_sales@sabo.gr  
[www.sabo.gr](http://www.sabo.gr)



## Компания MORTE (Испания) представляет мощную машину

Продолжая политику продвижения продуктов, способных улучшить рентабельность клиентов, MORTE представляет мощную машину.

Мощная машина сконструирована для автоматической очистки мундштуков фирмы MORTE и также пригодна для очистки мундштуков других компаний. Мощная машина MORTE имеет следующие преимущества:

- Обеспечивает мундштукам большую долговечность. При использовании мундштуков фирмы MORTE гарантируется значительное увеличение рентабельности.

- Уменьшение остановок для профилактики.
- Повышение стабильности работы оборудования во время экструзии.
- Легкая эксплуатация.

Конструкция машины легка в обращении в течение всех фаз: монтажа, вставки и удаления мундштуков. Шасси и панели изготовлены из нержавеющей стали, что гарантирует высокую стабильность и прочность.



### Машина состоит из следующих элементов:

- ШКАФ КОНТРОЛЯ И СИСТЕМА ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ ДАВЛЕНИЯ: система монтируется в отдельной кабине и включает всю систему контроля и автоматизации машины, а также оборудование для поддержания давления, что гарантирует оптимальную очистку каждого мундштука.

- СКЛАДЫВАЮЩАЯСЯ ДВЕРЬ: из нержавеющей стали имеет автоматическую систему открытия и закрытия, что обеспечивает надежность и безопасность во время ее использования. Имеет центральное окно, которое позволяет контролировать процесс мойки.

- МОЮЩИЕ ВИНТЫ: расположены в складывающейся двери, выпускают воду под высоким давлением по обе стороны мундштука, описывают круговое движение и затем сдвигаются в сторону от мундштука. Таким образом, достигается оптимальная очистка в минимальное время.

- ИЗВЛЕКАЮЩИЙ РЕЗЕРВУАР ШЛАМА: место, где накапливается вода и шлам, который отделяется во время мытья мундштуков. Данный резервуар удаляется с помощью грузового подъемника и очищается системой автопрокидывателя.

Новая мощная машина фирмы MORTE улучшает рентабельность работы клиентов компании и укрепляет позиции фирмы на рынке.



#### MORTE Press Officer

Angel Sánchez  
communication@talleresmorte.com  
Tel. 608 246 931 www.talleresmorte.com  
Talleres Morte e Hijos, SL C/ Carretera S/N,  
26510 Pradejón, La Rioja.  
Spain Tel. +34 941 15 01 33 | Fax +34 941 14 10 40 |  
www.talleresmorte.com morte@talleresmorte.com

#### Salvena Consulting LLC

Russia, 123182 Moscow  
ul. Marchall Vassilevsky, 13, build. 3, office 4  
Tel. +7 (499) 550 50 11  
Fax +7 (499) 550 50 12

## Компания **MORTE** (Испания) на **KERAMTEX-2014**

В этом году компания MORTE впервые стала участником конференции KERAMTEX-2014, которая ежегодно проводится в Российской Федерации под девизом «Развитие керамической промышленности в России» и является самой важной для производителей кирпича и черепицы.

Развитие промышленности, проиллюстрированное на основе эволюции строительства жилья в Российской Федерации, начиная с 2000 и заканчивая 2014 г., хотя и демонстрирует эффекты кризиса 2008 г., все же при этом предлагает оптимистические перспективы.

Особый интерес, проявленный участниками конференции – представителями кирпичных заводов, вызвала продукция фирмы MORTE, интерес не только по отношению к технологии и развитию пресс-форм, но и к материалам, которые использует компания для их изготовления.

Согласно информации, полученной фирмой MORTE, большинство российских производителей в области керамической промышленности используют для своих пресс-форм традиционные материалы. Возможно, они не знакомы с новыми материалами, используемыми MORTE, такими как карбид вольфрама или специальные сплавы стали, которые обеспечивают высокое сопротивление абразивному износу, улучшая тем самым продуктивность и рентабельность производственного процесса.

Кроме того, участники конференции проявили большой интерес к модульным системам изготовления пресс-форм MORTE, которые увеличивают срок службы пресс-форм и повышают рентабельность производства.

Конференция KERAMTEX – событие большого масштаба, участие в котором позволит компании MORTE познакомиться представителей кирпичных заводов в последующих сессиях со своими научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами, поделиться опытом и ноу-хау для того, чтобы российская керамическая промышленность превратилась в одну из ведущих на мировом рынке.

# ДЕЛАЙ ПРОСТО, НАСКОЛЬКО ВОЗМОЖНО, НО НЕ ПРОЩЕ ЭТОГО.

Альберт Эйнштейн





## MORTE

MOLDES PARA EXTRUSIÓN CERÁMICA

Мы применяем технологии и инновации + развитие к мундштукам, в которых простота сопровождает возможность освободить, заменить и монтировать с лёгкостью каждую деталь, она может быть установлена только на своём месте, без ошибок.

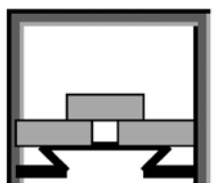
Наши продукты считаются самыми рентабельными на рынке, благодаря низкой стоимости их обслуживания, меньших остановок в процессе производства и быстрому и лёгкому запуску.



Visit us in Rimini  
24 - 26 September 2014  
Pab. 1 Stand 001







# 70 лет институту «ЮжНИИСтром» — гвардия отрасли в строю!

История известного отраслевого научно-исследовательского и проектного института «ЮжНИИСтром» началась во время Великой Отечественной войны. Чуть больше года прошло с момента освобождения Ростова-на-Дону от фашистских захватчиков, фронт ушел на запад, надо было начинать мирную жизнь заново. А значит строить. Ведь город был фактически полностью разрушен: в руины превратились 85% административных и жилых многоэтажных зданий.

В этих условиях требовалось в кратчайшие сроки наладить производство местных строительных материалов. 20 июля 1944 г. исполком Ростовского областного Совета решением № 1956 постановил «организовать Центральную научно-исследовательскую лабораторию Стройматериалов с экспериментальной мастерской для проведения опытных работ по изготовлению пустотелых керамических блоков из Ростовских глин». Так была создана ЦКИЛ и определено ее главное направление деятельности, которое остается актуальным по настоящее время. За годы существования организация претерпела множество реорганизаций и переименований.

В 1967 г. ЦКИЛ была преобразована в Зональное проектно-конструкторское бюро – ЗКПБ, которое кроме исследований занималось проектными конструкторскими работами, причем не только в Ростовской области, но и в Волгоградской, Астраханской, Воронежской, Краснодарском и Ставропольском краях, республиках Северного Кавказа.

В 1969 г. ЗКПБ Приказом Минстройматериалов РСФСР было преобразовано в Ростовский филиал Воронежского треста «Ортехстром».

В 1970 г. Ростовский филиал становится самостоятельным подразделением созданной при Минстройматериалов РСФСР организации СПКиНО «Росорттехстром» – специализированной проектно-конструкторской и пуско-наладочной организацией. Расширилась ее сфера деятельности, куда вошли все предприятия промышленности строительных материалов на территории РСФСР.

Эпоха перемен начала 1990-х гг. стала не только временем суровых испытаний. В 1991 г. согласно Приказу Минстройматериалов РФ филиал «Росорттехстрома» приобрел статус самостоятельного института и стал называться Южнороссийский научно-исследовательский проектно-конструкторский технологический институт «ЮжРОСНИИСтромпроект». В течение последующих 10 лет менялась организационно-правовая форма института, и в 2001 г. он был преобразован в ЗАО институт «ЮжНИИСтром», который существует по сей день.

За сухим перечислением преобразований и переименований стоит история формирования высокопрофессионального коллектива специалистов, которым по плечу были проекты самой высокой сложности.

Начав с малого, с лаборатории по сути заводской комплектации, шло становление специалистов, усложнялись задачи, росло мастерство и профессионализм. Лаборатория оснащалась современным оборудованием. Вместе с лабораторией-институтом росли специалисты. Яркий пример – Лидия Валентиновна Котлярова. Придя в лабораторию молодым специалистом, она прошла все ступени профессионального роста, защитила кандидатскую диссертацию, руководила лабораторией и научной частью института. Научный потенциал тематики выполняемых институтом работ позволял Лидии Валентиновне защитить докторскую диссертацию, но она решила сосредоточиться на решении актуальных задач, требующихся заводчанам, и на подготовке молодых ученых. При ее участии было подготовлено пять кандидатов технических наук которые успешно работают в строительной отрасли.

В настоящее время Котлярова Л.В., находясь на заслуженном отдыхе, является консультантом и не теряет связь с институтом.

На протяжении всех лет существования института им руководили, как правило, опытные производственники, которые четко понимали, какой круг задач необходимо решать для развития промышленности. Первым директором ЦКИЛ была Фаина Семеновна Юдилевич, первым директором ЗКПБ – Борис Миронович Жорницкий, Ростовский филиал СПКиНО «Росорттехстром» возглавляли Виталий Иванович Злобин, Валентин Константинович Кушаренко. С 1988 г. по настоящее время институтом «ЮжНИИСтром» руководит Николай Григорьевич Гуров.

Соответственно, руководители формировали коллектив из увлеченных неравнодушных людей. Не случайно, многие вышедшие на пенсию специалисты, продолжают работать или консультировать молодых коллег.

В настоящее время в институте поддерживается кадровый баланс, обеспечивающий преемственность поколений, сочетающий опыт и профессионализм зрелых специалистов и молодых, среди которых можно выделить А. Наумова, недавно успешно защитившего кандидатскую диссертацию, А. Федькину, Р. Гурова, Н. Бухтоярову.

Для того, чтобы задачи предприятий промышленности стройматериалов решать комплексно требовалась соответствующая структура организации, поэтому последовательно создавались новые секторы и отделы. К середине 1980-х гг. институт уже имел инженерно-геологическую службу с буровой техникой, которая занималась геологической разведкой местных полезных ископаемых: песков, глин, суглинков, известняков, гипсов, песчаников, мергелей и др.

Мощный технологический отдел с лабораторией способен вести исследования и разработку технологических регламентов – основы для проектирования как новых производств, так и реконструкцию действующих предприятий.

Специализированный проектно-конструкторский отдел обеспечивает разработку как отдельных разделов проектов, так и проектов всех разделов комплекса.

Высококласные специалисты отдела пуско-наладочных работ выполняют технологическую пуско-наладку агрегатов, линий, производств, заводов на всей территории России.

При непосредственном участии специалистов института «ЮжНИИСтром» было построено много заводов, цехов, горных предприятий, карьеров, в том числе: Алексинский кирпичный завод (Тульская обл.); реконструкция Сальского кирпичного завода (Ростовской обл.); Славянский кирпич (Краснодарский край); Шахтинский завод (ООО ФилиН КСМ), Назрановский кирпичный завод полусухого прессования; цех по производству пенополимербетонной изоляции трубопроводов для ООО «Мострасгаз», Завод по производству алюминиевых радиаторов (Волгоград), завод сухих строительных смесей для фирмы КНАУФ и многие др.

Институт «ЮжНИИСтром» стал одним из первых активных участников Международной научно-практической конференции «Развитие керамической промышленности России: КЕРАМТЭКС» с первого года ее проведения. Специалисты института являются постоянными авторами журнала «Строительные материалы». Наша совместная работа способствует внедрению новых технологий и оборудования на предприятиях, поступательному развитию отрасли. Это отмечают все участники профессионального сообщества.

**Редакционный совет, редакция, оргкомитет Международного информационно-аналитического проекта КЕРАМТЭКС поздравляют коллектив института «ЮжНИИСтром» с 70-летием и желают дальнейших успехов.**

**СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО**  
**СКБ СТРОЙПРИБОР**  
**ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**



тел/факс в Челябинске: (351) 790-16-13, 790-16-85, 796-64-14  
 в Москве: (495) 964-95-63, 220-38-58  
 e-mail: stroypribor@chel.surnet.ru  
 www.stroypribor.ru

Реклама

**ИЗМЕРИТЕЛИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА, КИРПИЧА**

**ИПС-МГ4.01 / ИПС-МГ4.03**  
ударно-импульсный

автоматическая обработка измерений



диапазон 3...100 МПа

**УКС-МГ4 / УКС-МГ4 С**  
ультразвуковой

поверхностное и сквозное прозвучивание



частота 60...70 кГц  
диапазон 10...2000 мкс

**ПОС-50МГ4 / ПОС-50МГ4 Д / ПОС-50МГ4 "Скол"**

отрыв со скалыванием и скалывание ребра



предельное усилие 60 кН  
диапазон 5...100 МПа

**ПОС-2МГ4 П**

испытание прочности ячеистых бетонов



предельное усилие вырыва 2,5 кН

**ПЛОТНОМЕРЫ ГРУНТОВ ДИНАМИЧЕСКИЕ**

**ПДУ-МГ4 "Удар"**

и **ПДУ-МГ4 "Импульс"**

определение динамического модуля упругости грунтов и оснований дорог методом штампа, диапазон: 5...370 МН/м<sup>2</sup> ("Удар")  
5...300 МН/м<sup>2</sup> ("Импульс")



**Прессы испытательные малогабаритные**

**ПГМ-100МГ4 / ПГМ-500МГ4 / ПГМ-1000МГ4**

с гидравлическим приводом для испытания бетона, асфальтобетона, кирпича  
 ■ предельная нагрузка 100 / 500 / 1000 кН  
 ■ масса 70 / 120 / 180 кг



**ПСО-10МГ4 КЛ**

испытание прочности сцепления в каменной кладке



предельное усилие отрыва 15 кН

**АДГЕЗИМЕТРЫ**

**ПСО-МГ4**

испытание прочности сцепления покрытия с основанием



предельная нагрузка 1 / 2,5 / 5 / 10 кН

**ИЗМЕРИТЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

**ИТП-МГ4 "100" / "250" / "Зонд"**

стационарный и зондовый режимы



диапазон 0,02...1,5 Вт/м·К

**АНЕМОМЕТРЫ, ГИГРОМЕТРЫ**

**ИСП-МГ4 / ИСП-МГ4.01**  
анемометр-термометр

диапазон 0,1...20 (1...30) м/с  
-30...+100 °С



**ТГЦ-МГ4 / ТГЦ-МГ4.01**  
термогигрометр

диапазон 0...99,9 % / -30...+85 °С



**ИЗМЕРИТЕЛИ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ**

**ИТП-МГ4.03 "Поток"**

3...5, 10 и 100-канальные регистраторы



диапазон 10...999 Вт/м<sup>2</sup>  
-40...+70 °С

**ИЗМЕРИТЕЛИ ВЛАЖНОСТИ**

**ВЛАГОМЕР-МГ4**

для измерения влажности бетона, сыпучих, древесины  
диапазон 1...45 %



**ИЗМЕРИТЕЛИ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА**

**ИПА-МГ4**

диаметр контролируемой арматуры 3...40 мм  
диапазон измерения защитного слоя 3...140 мм



**ТЕРМОМЕТРЫ**

**ТМР-МГ4 / ТЦЗ-МГ4 / ТЦЗ-МГ4.01**

модульные регистрирующие для зимнего бетонирования и пропарочных камер (до 20 модулей в комплекте)  
зондовые / контактные  
1...2-канальные  
диапазон -40...+100 / 250 °С



**ДИНАМОМЕТРЫ**

**ДМС-МГ4 / ДМР-МГ4**  
эталонные

сжатия / растяжения  
предельная нагрузка 1...1000 кН



**ИЗМЕРИТЕЛИ СИЛЫ НАТЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ**

**ДО-40 / 60 / 80МГ4**

метод поперечной оттяжки

диапазон контролируемых усилий 2...120 кН



диаметр арматуры 3...12 мм

**ИЗМЕРИТЕЛИ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ**

**ЭИН-МГ4**

частотный метод

диаметр арматуры 3...32 мм



диапазон 100...1800 МПа

ПРОИЗВОДИМ: ИЗМЕРИТЕЛИ ВИБРАЦИИ, МОРОЗОСТОЙКОСТИ, ТОЛЩИНОМЕРЫ, ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ ВЕСЫ И ДР.

# Все строительные ресурсы России — на специализированной электронной торговой площадке ESTP.RU

Единая Строительная Тендерная Площадка (ESTP.RU) — первая в России специализированная электронная торговая площадка, на которой работают только профессиональные участники строительного рынка, обладающие квалификацией и необходимой разрешительной документацией.

Основные сервисы Единой Строительной Тендерной Площадки — тендерный зал ESTP.RU, каталоги подрядчиков и поставщиков, реестр всех строительных тендеров России.

Конкурентным преимуществом ESTP.RU является то, что здесь представлены все виды торгов, разрешенные российским законодательством.

## В чем смысл присутствия подрядчиков на ESTP.RU?

Вся информация строительного комплекса России — на одном портале. Площадку можно использовать как информационный ресурс с целью поиска сведений о тендерах России, а также данных реестра российских СРО с ежедневно обновляемой информацией.

Партнерам ESTP.RU не нужно следить за обновлением большого количества сайтов в поисках новых заказов.

## Единая база строительных тендеров

ESTP.RU предлагает постоянно обновляемую базу данных строительных тендеров России, в которой собрана информация о тендерах с различных торговых площадок страны.

Благодаря удобной навигации на сайте ESTP.RU можно задать соответствующие параметры поиска информации и найти интересные тендеры в различных регионах России, а затем сразу перейти на сайт площадки, которая проводит торги в on-line режиме.

В соответствии с параметрами поиска можно оформить подписку на e-mail-рассылку уведомлений о новых тендерах. Рассылка уведомлений производится ежедневно.

## Профессиональное снабжение строительных объектов

Единая Строительная Тендерная Площадка не только помогает в закупках строительных материалов, изделий, конструкций и

услуг, распределяя их через тендеры, но и уделяет внимание системе снабжения строительных компаний товарами по ценам ниже рыночных.

Профессионалы рынка знают, что качественные материалы пользуются повышенным спросом, особенно во время строительного сезона. ESTP.RU поможет сориентироваться с выбором поставщиков, потому что именно здесь сконцентрированы профильные спрос и предложение. При этом достигается максимальная экономия средств и времени при закупках строительных материалов.

## Если вы решили работать на ESTP.RU

Вам необходимо зайти на сайт [www.estp-sro.ru](http://www.estp-sro.ru), нажать на кнопку «Регистрация», выбрать тип участия (регистрация подрядчика), и, следуя подсказкам системы, заполнить заявку на регистрацию.

После этого на e-mail высылаются логин и пароль вашего личного кабинета.

После регистрации в качестве подрядчика создайте карточку вашей компании, которая будет отображаться в общем каталоге подрядчиков. К карточке прикрепите электронную цифровую подпись. Для участия в торгах на ESTP.RU необходима аккредитация.

## Расскажите о себе

Подробная и актуальная информация о компании-подрядчике (поставщике, исполнителе) позволит заказчику оценить уровень вашей квалификации (подтвержденной допусками к работам от СРО), а также компетенцию компании (выполненные проекты и история участия в строительных тендерах России). Опираясь на эту информацию, заказчик сможет пригласить вас для участия в закрытых тендерах.

Услуга по размещению информации в каталоге подрядчиков платная: 18 тыс. руб. за 6 мес, 30 тыс. руб. за год.

**Дополнительная информация по тел.: 8-800-555-20-83**

**[www.estp-sro.ru](http://www.estp-sro.ru)**



The Largest and Major Ceramics Industry Exhibition  
in the World with Over 100,000m<sup>2</sup> Exhibiting Space



***CERAMICS CHINA 2015***

**DATE: June 1st - 4th, 2015**

**VENUE: Canton Fair Complex, Guangzhou**

Hosted by China Ceramic Industrial Association

Organized by Unifair Exhibition Service Co., Ltd.



**UNIFAIR**  
EXHIBITION SERVICE

Tel: +86-20-8327 6369 / 8327 6389

Email: [overseas@ceramicschina.com.cn](mailto:overseas@ceramicschina.com.cn)

Web: [www.ceramicschina.com.cn](http://www.ceramicschina.com.cn)



Visit Official Website  
Scan This QR Code

А.П. ЗУБЕХИН, д-р техн. наук, А.В. ВЕРЧЕНКО, инженер, Н.Д. ЯЦЕНКО, канд. техн. наук (natyacen@yandex.ru)

Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова (346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132)

## Зависимость прочности керамогранита от фазового состава

Рассмотрены результаты исследования прочностных характеристик керамического гранита с использованием глин, щелочного каолина, цеолитового туфа и габбро-диабазы в зависимости от его фазового состава. Установлено, что прочность керамики предопределяется количеством кристаллической и рентгеноаморфной фаз, способствующих образованию единого конгломерата.

**Ключевые слова:** керамогранит, кристаллическая фаза, стеклофаза, метакаолинит, прочность.

A.P. ZUBEKHIN, Doctor of Sciences (Engineering), A.V. VERCHENKO, Engineer, N.D. YATSENKO, Candidate of Sciences(Engineering) (natyacen@yandex.ru) South-Russian State Polytechnic University named after M.I. Platov (132 Prosveshcheniya St., Novocheerkassk, Rostov Region, 346428, Russian Federation)

### Dependence of Porcelain Stoneware Strength on its Phase Composition

Results of the study of strength characteristics of ceramic granite with the use of porcelain clays, alkaline kaolin, zeolite tuff and gabbro-d diabase depending on its phase composition are considered. It is established that the strength of ceramics is predetermined by the amount of crystalline and X-ray amorphous phases, favouring the formation of a single conglomerate.

**Keywords:** porcelain stoneware, crystalline phase, glass phase, metakaolinite, strength.

Как известно, свойства керамики и керамических изделий определяются фундаментальной зависимостью состав—структура—свойства [1, 2]. В технологии свойства керамики примерно одинакового состава в значительной степени зависят от структуры. Под структурой понимается как фазовый состав, так и микроструктура керамического камня в целом, а также структура отдельных фаз [2].

Керамика состоит из кристаллической, стекловидной и газовой фаз. Для многих видов керамических изделий свойства, прежде всего физико-механические, предопределяются главным образом кристаллической фазой. На прочность глиносодержащей керамики, например керамогранита, существенное влияние оказывает стеклофаза, однако мнения о ее роли противоречивы [3]. Кроме того, в зависимости от температуры обжига в рентгеноаморфной фазе глиносодержащей керамики может присутствовать *метакаолинит*  $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  — продукт дегидратации глинистых минералов, которому исследователи зачастую не придают должного значения [4–6]. В связи с этим актуально исследование зависимости прочности тонкой строительной керамики от фазового состава и структуры. Особенно это важно для таких керамических облицовочных изделий, как керамогранит, важнейшим потребительским свойством которого является механическая прочность, в первую очередь прочность при изгибе.

Для установления зависимости прочности керамогранита от его фазового состава и структуры при разра-

ботке ресурсосберегающей технологии выявлены оптимальные составы керамогранита на основе цеолитосодержащих шихт [7], а также шихты с использованием габбро-диабазы. В составах шихт 0 и 1 использованы глины Дружковского месторождения ДН-2 (Украина), а также Владимировского месторождения (Ростовская обл.). В качестве базового принят состав 0, используемый для производства керамического гранита на ОАО «Стройфарфор», а в состав 1 вместо полевого шпата введен цеолитовый туф. В керамических массах 2 и 3 использована глина Ш-1 Шулеповского месторождения (Рязанская обл.). В качестве плавня в составе 2 также использовали цеолитовый туф в количестве 25%, а в составе 3 цеолитовый туф 10% и габбро-диабаз 15%. В табл. 1 приведен химический состав указанных сырьевых компонентов в пересчете на прокаленное вещество, исследуемые шихтовые составы — в табл. 2.

Подготовку керамических масс осуществляли шликерным способом помолом в лабораторных планетарных мельницах с уралитовыми шарами. Тонину помола контролировали остатком на сите № 0063 (остаток не более 1,1 мас. %). Затем шликер высушивали и размалывали. Из полученного пресс-порошка влажностью  $W=6\%$  прессовали образцы керамогранита размером  $55 \times 100 \times 7$  мм.

После сушки при  $150^\circ\text{C}$  образцы обжигали в муфельной печи в течение 60 мин при температуре,  $^\circ\text{C}$ : составы 0, 1 и 2 — 1200; 3 — 1155, с изотермической выдержкой в течение 15 мин.

Таблица 1

Химический состав сырьевых материалов

Материал	Массовое содержание, %										
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	FeO	MnO	ППП
Глина ДН-2	54,25	1,52	30,11	1,15	0,74	0,78	1,74	0,42	-	-	9,29
Глина Ш-1	48,71	1,53	33,95	1	0,28	0,19	-	0,69	-	-	13,65
Глина ВКН-2	66,1	1,16	21,99	1,31	0,26	0,54	0,45	2,44	-	-	5,95
Щелочной каолин	72,37	0,73	15,59	0,05	1,27	0,65	0,11	5,9	-	-	3,33
Полевой шпат	69,03	0,07	18,54	0,39	0,89	0,05	9,92	0,33	-	-	0,39
Цеолитовый туф	67,63	1,2	11,59	0,3	2,8	0,8	1,9	4,2	-	0,04	9,54
Габбро-диабаз	51,17	2,98	13,32	2,05	8,42	5,44	2,98	1	11,58	-	0,85

Таблица 2.  
Шихтовой состав керамогранита

Компонент	Содержание, мас. %			
	0	1	2	3
Глина ДН-2	35	35	-	-
Глина ВКН-2	10	10	-	-
Глина Ш-1	-	-	60	60
Щелочной каолин	18	18	15	15
Полевой шпат	37	-	-	-
Цеолитовый туф	-	37	25	10
Габбро-диабаз	-	-	-	15
Сумма, %	100	100	100	100

Послеобжиговые свойства полученного керамического гранита показаны в табл. 4.

Анализ данных табл. 4 позволяет сделать следующие выводы. Составы 0 и 1 отличаются лишь тем, что в составе 1 полевой шпат заменен цеолитовым туфом. Керамогранит состава 1 по сравнению с базовым составом 0 характеризуется высокой прочностью при изгибе, что обусловлено его повышенной усадкой и соответственно высокой плотностью. Высокая усадка определяется повышенным содержанием образующейся жидкой фазы на стадии спекания.

Составы шихт 2 и 3 включают глинистый компонент – огнеупорную глину Ш-1, а также щелочной каолин

(как и в других составах). В качестве плавней содержат цеолитовый туф и габбро-диабаз. Показатели водопоглощения и усадки этих составов соответствуют требованиям к высококачественному керамограниту. Прочность при изгибе данных образцов значительно выше, чем требования технических условий для этих изделий.

Полученные результаты подтверждают реальную возможность использования разработанных составов для производства высококачественного керамогранита.

Для установления взаимосвязи свойств керамогранита с его фазовым составом и структурой были проведены рентгенофазовые и петрографические исследования с помощью метода оптической микроскопии. Результаты РФА позволили установить следующее: во всех образцах керамогранита идентифицированы кристаллические фазы  $\beta$ -кварц,  $\beta$ -кристобалит, муллит и фиксируется галло, характеризующее наличие рентгеноаморфной фазы. Количество этих фаз, как и следовало ожидать, различное (табл. 5).

Метакаолинит, являясь псевдокристаллическим веществом [8], не способствует повышению прочности керамического камня. Это убедительно подтверждается результатами исследования зависимости прочности при изгибе керамогранита от фазового состава методом оптической микроскопии (табл. 5).

Как видно из приведенных данных, структура образцов керамогранита существенно отличается по количеству кристаллической и рентгеноаморфной фазы. Анализ зависимости предела прочности при изгибе свидетельствует о том, что повышенное содержание

Таблица 3

Расчетный химический состав шихт керамического гранита

Код состава шихты	Массовое содержание, %									
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	FeO	MnO
0	67,13	0,88	23,77	0,74	0,88	0,5	1,67	4,44	-	-
1	68,21	1,37	23,43	0,68	1,52	0,57	3,36	0,84	-	0,02
2	63,98	1,51	29,02	0,79	1,16	0,43	2,56	0,54	-	0,01
3	60,38	1,76	29,23	1,05	1,97	1,12	2,03	0,69	1,75	0,01

Таблица 4

Послеобжиговые свойства исследуемых образцов

Свойство керамического камня	Код состава			
	0	1	2	3
Механическая прочность при изгибе, МПа	51,9	68,97	50,2	56,42
Водопоглощение, %	0,18	0,15	0,04	0,12
Усадка, %	7,12	11,98	10,89	9,05
Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>	2,53	2,58	2,45	2,49
Цвет	Светло-серый	Светло-серый	Светло-серый	Светло-коричневый

Таблица 5

Фазовый состав образцов керамогранита

Код шихты	Содержание, мас. %						
	Кристаллическая фаза					Рентгеноаморфная фаза	
	$\beta$ -кварц	$\beta$ -кристобалит	Муллит	Гематит	$\Sigma$	Стеклофаза	Метакаолинит
0	8	8	4	1	21	55	24
1	7	7	4	1,5	19,5	66	14,5
2	4	2	5	1,5	12,5	57,5	30
3	3	2	5	3	13	64	23



кристаллической фазы в образцах керамогранита 0 и 1 обуславливает их повышенную прочность. При этом структура керамогранита характеризуется повышенным количеством стеклофазы и минимальным содержанием метакаолинита. Последнее свидетельствует о незавершенности процесса фазообразования глинистого остатка.

## Список литературы

1. Химическая технология керамики. Под ред. И.Я. Гузмана. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2012. 496 с.
2. Зубехин А.П., Яценко Н.Д. Теоретические основы инновационных технологий в строительной керамике // *Строительные материалы*. 2014. №1–2. С. 89–92.
3. Салахов А.М., Салахова Р.А. Керамика вокруг нас. М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2008. 160 с.
4. Baucia J.A., Koshimizu Jr.L., Giberton C., Morelli M.R. Estudo de fundentes alternativos para uso em formulações de porcelanato // *Cerâmica*. 2010. № 56, pp. 262–272.
5. Рыщенко М.И., Федоренко Е.Ю., Чиркина М.А. и др. Микроструктура и свойства низкотемпературного фарфора // *Стекло и керамика*. 2009. № 11. С. 26–29.
6. Борков Б.М. Изучение структуры и свойств фарфора низкотемпературного обжига // *Международный журнал экспериментального образования*. 2012. № 6. С. 98–100.
7. Зубехин А.П., Верченко А.В., Галенко А.А. Получение керамического гранита на основе цеолитсодержащих шихт // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 52–54.
8. Брыков А.С. Химия силикатных и кремнеземсодержащих вяжущих материалов. СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2011. 147 с.

В образцах керамогранита 2 и 3, составы масс которых существенно отличаются от образцов 0 и 1, количество кристаллической фазы значительно ниже, чем в керамогранитах составов 0 и 1. Количество же стеклофазы находится практически на том же уровне при повышенном содержании метакаолинита. Эти данные коррелируют с показателями прочности керамогранита.

## References

1. Khimicheskaya tekhnologiya keramiki [Chemical technology of ceramics]. Edited by Guzman I.Ya. Moscow: «Stroimaterialy». 2012. 496 p.
2. Zubekhin A.P., Yatsenko N.D. Theoretical bases of innovative technologies of construction ceramics. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 89–92. (In Russian).
3. Salakhov A.M., Salakhova R.A. Keramika vokrug nas [Ceramic around us]. Moscow: «Stroimaterialy». 2008. 160 p.
4. Baucia J.A., Koshimizu Jr.L., Giberton C., Morelli M.R. Estudo de fundentes alternativos para uso em formulações de porcelanato. *Cerâmica*. 2010. No. 56, pp. 262–272.
5. Ryshchenko M.I., Fedorenko E.Yu., Chirkina M.A. etc. Microstructure and properties of low-temperature porcelain. *Steklo i keramika*. 2009. No. 11, pp. 26–29. (In Russian).
6. Borkov B.M. Study of the structure and properties of low-temperature firing porcelain. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya*. 2012. No. 6, pp. 98–100. (In Russian).
7. Zubekhin A.P., Verchenko A.V., Galenko A.A. Manufacture of ceramic granite on the basis of zeolite-containing batches. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 52–54. (In Russian).
8. Brykov A.S. Khimiya silikatnykh i kremnezemsoderzhashchikh vyazhushchikh materialov [Chemistry silicate binders and siliceous materials]. Saint-Petersburg: SPbGTI(TU). 2011. 147 p.

Реклама

ТОРГОВЫЙ ДОМ  
**ИНТА-СТРОЙ**

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

## ОБОРУДОВАНИЕ «ИНТА-СТРОЙ» ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

### СМЕСИТЕЛЬ-ГРАНУЛЯТОР «КАСКАД-10»



**Назначение:**

- Промышленная подготовка сырья для пластического формования и полусухого прессования кирпича.
- «Каскад-10» может использоваться в других отраслях, где необходимо тщательное смешение компонентов с высокой степенью гомогенизации.

**Преимущества:**

- глубокая переработка сырья;
- высокая степень гомогенизации;
- улучшение характеристик сырья;
- гранулирование;
- камневыделение;
- производство цветного кирпича;
- возможность использования отходов (зола ТЭЦ, граншлак и пр.)

**Основные характеристики:**

- производительность, т/ч – 6;
- установленная мощность, кВт – 45;
- габариты (дл., шир., выс.), мм – 3126, 1883, 1020;
- масса, кг – 2400.

Типоразмерный ряд установок «Каскад» обеспечивает производительность, т/ч – 1,5; 2; 3; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70.

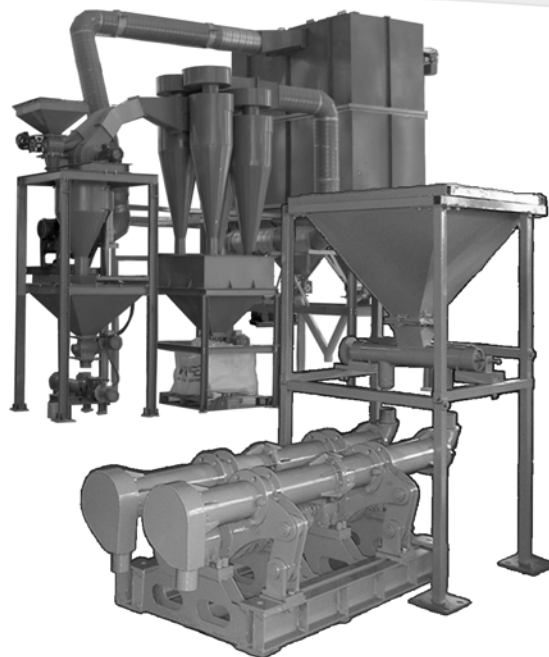
мы звенья одной цепи    мы звенья одной цепи    мы звенья одной цепи



## Российские промышленные помольно - классификационные комплексы «Активатор»

Реклама

	АПК 100	АПК 500	АПК 1000	АПК 5000
производительность	100 кг/ч	500 кг/ч	1000 кг/ч	5000 кг/ч
граница разделения	1-10 мкм	3-20 мкм	5-50 мкм	5-70 мкм
потребляемая мощность	11 кВт/ч	22 кВт/ч	45 кВт/ч	130 кВт/ч



[www.activator.ru](http://www.activator.ru)

Машиностроительный Завод «Активатор»  
Новосибирская обл., р.п. Дорогино,  
630056, Новосибирск 56, а/я 141  
Факс: +7 (38345) 710-61  
Тел.: +7 (913) 942 94 81  
e-mail: belyaev@activator.ru

Ульяновская область, 20км от г.Ульяновска

Реклама

**ПРОДАЕТСЯ**  
**земельный участок**  
**140 га**

**с разведанным объемом глины**  
**9 000 000 м<sup>3</sup>**

**ООО "ПРЕМЬЕРА"**

**+7 (929) 798-55-62**

УДК 624.148

А.И. НИКИТИН<sup>1</sup>, ген. директор (nikitin-dekarta@mail.ru); Г.И. СТОРОЖЕНКО<sup>2</sup>, д-р техн. наук, директор; Л.К. КАЗАНЦЕВА<sup>3</sup>, д-р техн. наук; В.И. ВЕРЕЩАГИН<sup>4</sup>, д-р техн. наук

<sup>1</sup> ООО «Баскей Керамик» (454111, г. Челябинск, ул. Степана Разина, 16)

<sup>2</sup> ООО «Баскей» (630090, г. Новосибирск, ул. Инженерная, 4а)

<sup>3</sup> Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (630090, г. Новосибирск, пр. Акад. Коптюга, 3)

<sup>4</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет (634050, г. Томск, пр. Ленина, 30)

## Теплоизоляционные материалы и изделия на основе трепелов Потанинского месторождения

В Челябинской области на предприятии «Баскей Керамик» налажено производство гранулированных пеноматериалов по одностадийной технологии из трепелов Потанинского месторождения без их предварительной переплавки в стекло. Выпуск теплоизоляционной продукции основан на синтезе гидратированных полимерных силикатов натрия ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) в щелочных составах на основе кремнистых пород последующей термической обработкой полуфабриката и получением конечного продукта – пористых гранул ячеистого строения. В зависимости от режима обработки трепела «Баскей Керамик» выпускает гранулированный теплоизоляционный материал с различной насыпной плотности от 180 до 400 кг/м<sup>3</sup>. В настоящее время также разработаны технологии производства штучных теплоизоляционных изделий – блоков, плит и панелей.

**Ключевые слова:** пеностекло, гранулят, трепел, теплоизоляционные материалы.

A.I. NIKITIN<sup>1</sup>, General Manager (nikitin-dekarta@mail.ru); G.I. STOROZHENKO<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Director;

L.K. KAZANTSEVA<sup>3</sup>, Doctor of Sciences (Engineering); V.I. VERESHCHAGIN<sup>4</sup>, Doctor of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> ООО «Baskei Keramik» (1b, Stepana Razina Street, Chelyabinsk, 454111, Russian Federation)

<sup>2</sup> ООО «Baskei» (4a, Inzhenernaya Street, Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

<sup>3</sup> Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS (3, Koptuyug Prospect, Novosibirsk, 630090, Russian Federation)

<sup>4</sup> National Research Tomsk Polytechnic University (30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation)

### Heat-Insulating Materials and Products on the Basis of Tripoli of Potanin Deposit

Production of granulated foam materials on the basis of one-stage technology from tripoli of Potanin Deposit without preliminary melting in glass has been organized at "Baskei Ceramic" Enterprise in Chelyabinsk Oblast. Production of heat-insulating products is based on the synthesis of hydrated polymer sodium silicates ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) in alkali compositions on the basis of siliceous rocks with the following thermal processing of semi-finished product and obtaining of a final product – porous granules of cellular structure. Depending on conditions of tripoli treatment, "Baskei Ceramic" produces granulated heat-insulating material with different poured density from 180 up to 400 kg/m<sup>3</sup>. At present technologies of production of piece heat-insulating products – blocks, slabs and panel – are developed.

**Keywords:** foam glass, granulate, tripoli, heat-insulating material.

Национальным приоритетом на весь XXI в. является подъем Сибири и Дальнего Востока, который становится стратегической целью развития экономики нашей страны и куда будут направлены ресурсы государства и частного бизнеса. Поскольку решение стратегической задачи создания специальных территорий опережающего экономического развития в этих регионах невозможно без обеспечения их инфраструктурой, очевидной становится необходимость строительства в этих районах высокотехнологичных производств современных стройматериалов. Разработка и производство долговечных, экологически безопасных и эффективных теплоизоляционных материалов для огромных пространств от Урала до Дальнего Востока по-прежнему является актуальной задачей в связи с низким качеством и недолговечностью минеральных изделий на синтетических связующих [1].

По этой причине наука и производство обращаются к новым материалам, таким как пеностекло, пеносиликаты и пеностеклокристаллические материалы, которые отличаются по виду исходного сырья и технологическим приемам их производства [2–5]. Легкий ( $\rho_{\text{нас.}} = 140\text{--}650 \text{ кг/м}^3$ ), прочный ( $R_{\text{сж.}} = 0,5\text{--}5 \text{ МПа}$ ), долговечный и негорючий материал с низкой теплопроводностью (0,045–0,1 Вт/(м·К)) выпускается как в виде гранул, так, в виде блоков и плит. Однако широкому распространению указанных материалов и изделий препятствует ограниченность такого источника сырья, как бой стекла, высокие энергетические затраты на варку стекла, отсутствие отечественного оборудования и эф-

фективных технологий, которые бы обеспечивали низкую стоимость пеностекла.

В Челябинской области на предприятии «Баскей Керамик» внедрена одностадийная технология производства гранулированного пеностеклокристаллического теплоизоляционного материала и изделий на основе трепелов Потанинского месторождения без предварительной варки стекла. В настоящей статье представлены результаты работы ученых и инженеров по получению промышленных партий пеностеклокристаллических гранул и изделий на их основе.

Потанинское месторождение трепела, представляющего собой легкую пористую породу, состоящую в основном из аморфного кремнезема, расположено

**Таблица 1**

Содержание оксидов, % на сухое вещество						
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	ППП
76,16	7,52	4,1	0,75	1,05	1,23	7,5

**Таблица 2**

Частицы	Синий трепел (первичный)	Желтый, серый трепел (вторичный)
Песчаные >50 мкм	26	20–22
Пылеватые 5–50 мкм	35	23–26
Глинистые <5 мкм	39	54

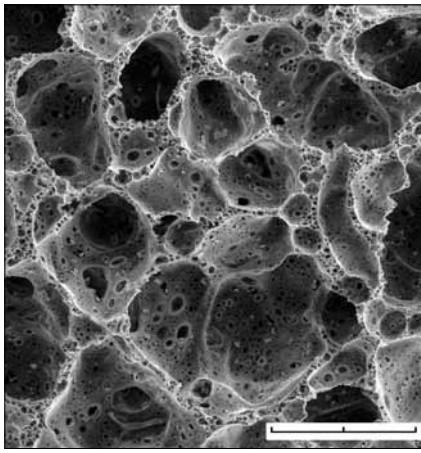


Рис. 1. Микроструктура гранул

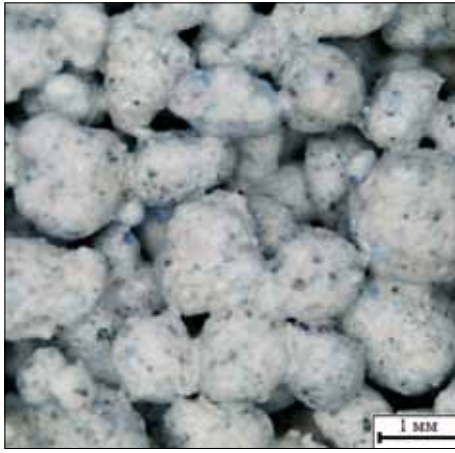
Рис. 2. Макроструктура формованных блоков: фракция 1–2,5 мм; средняя плотность 0,42 г/см<sup>3</sup>; прочность при сжатии 1,1 МПа

Рис. 3. Изделия, выпускаемые на основе гранулированного пеностекла

Таблица 3

Класс гранул, мм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность гранул сдвливанием в цилиндре, МПа	Коэффициент конструктивного качества	Поглощение воды, %, через:		Потери массы при кипячении, %
				1 сут	3 сут	
0,1–0,2	400±20	7,17	17,92	7,57	22,73	0,5–0,93
0,2–0,3	390±20	5,77	14,44	6,72	15,77	
0,3–0,6	380±20	4,91	12,93	6,49	12,98	
0,6–1,25	360±20	0,89	2,34	5,43	11,76	
1,25–2,5	320±20	0,88	2,44	4,77	11,22	
2–5	260±20	0,52	2,1	4,72	11,61	
5–10	210±20	0,54	2,33	3,33	10,33	

Таблица 4

Показатели	Вид вяжущего вещества		
	Цемент	Гипс	Минерально-полимерное связующее
Средняя плотность изделий $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	510	490	350
Относительная плотность изделий $\rho/\rho_{абс}$	0,204	0,196	0,14
Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ , МПа	1,1–1,2	1,5–1,6	0,9–1,1
Относительная прочность при сжатии $\sigma_{сж}/\rho_{от}$ , МПа	5,64	7,65	7,4
Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ , МПа	0,4–0,5	0,8–0,9	0,3–0,4
Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·К)	0,1–0,12	0,1–0,13	0,08–0,09

в 17 км от г. Челябинска. Химический и гранулометрический составы трепелов приведены соответственно в табл. 1, 2.

Физико-механические свойства трепела: истинная плотность 1400–1600 кг/м<sup>3</sup>; средняя плотность 800–1000 кг/м<sup>3</sup>; насыпная плотность в состоянии карьерной влажности (37–40 %) – 800 кг/м<sup>3</sup>; пористость 70–80%; огнеупорность – 1380–1510°C.

Выпуск продукции предприятием «Баскей Керамик» базируется на синтезе гидратированных полимерных силикатов натрия ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) из трепелов, с последующей термической обработкой полуфабриката и получением конечного продукта – пенокристаллических гранул. Использование гидроксида натрия в производстве вспененных материалов из трепелов решает две задачи – снижение температуры плавления и образование источника вспучивающего газа. На предприятии освоены как полусухая технология гранулирования, так и пластическая с гранулированием экструзивным методом.

В зависимости от режима обработки трепела, можно получить пенокристаллические гранулы различной насыпной плотности от 180 до 400 кг/м<sup>3</sup>. Основные характеристики продукции, которые определялись по ГОСТ 9758–86 и методикам известной компании Dennert Poraver, приведены в табл. 3.

С увеличением размеров гранул от 0,1 мм до 10 мм их насыпная плотность уменьшается с 400 кг/м<sup>3</sup> до 210 кг/м<sup>3</sup>, а прочность с 7 до 0,5 МПа. По прочности гранулы можно разделить на три группы в зависимости от их размеров. Первая группа: размер гранул 0,1–0,6 мм, насыпная плотность 380–400 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сдвливании в цилиндре 5–7 МПа. Вторая группа: размер гранул 0,6–2,5 мм, насыпная плотность 350–360 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сдвливании в цилиндре около 0,9 МПа.

Третья группа: размер гранул 2,5–10 мм, насыпная плотность 210–260 кг/м<sup>3</sup>, прочность при сдвливании в цилиндре 0,52–0,54 МПа.

В настоящее время отработаны технологии производства блоков, плит и панелей, в которых пеностеклокристаллические гранулы использовались в качестве наполнителя. Гранулы смешивались с различными вяжущими веществами в смесителях принудительного действия; для цементного раствора использовались бетономешалки. После смешивания гранулы покрываются тонким слоем вяжущего, что позволяет способом

вибропрессования получать различные виды строительных теплоизоляционных изделий, физико-механические свойства которых приведены в табл. 4.

Относительная прочность материалов с различными связками одного порядка (5,6–7,6 МПа). Из этого следует, что прочность пористого изделия главным образом определяется прочностью гранул.

На рис. 1 показана пористая структура гранулированного пеностеклокристаллического материала, которая характеризуется однородностью и удовлетворительной остеклованностью. В остеклованных стенках пор формируются более мелкие поры, которые свидетельствуют о равномерном образовании гидратированных

полимерных силикатов натрия по всему объему гранулированного материала. На рис. 2 показана макроструктура плит 2800×1000×80 мм (рис. 3), которые могут использоваться в качестве звуко- и теплоизоляционных перегородок, как в жилых, так и общественных зданиях.

Опыт работы предприятия «Баскей Керамик» показывает, что на основе широко распространенных на территории Урала, Сибири и Дальнего Востока кремнистых пород, с использованием отечественного оборудования можно организовать в промышленных масштабах производство гранулированного пеностеклокристаллического материала, соответствующего всем нормативным показателям на пористые неорганические наполнители.

### Список литературы

1. Иванов К.С. Изоляционный материал для термостабилизации грунтов // *Криосфера Земли*. 2011. Т. XV. № 4. С. 120–122.
2. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Семухин Б.С., Абияка А.Н. Низкотемпературный синтез стеклогранулята из шихт на основе кремнеземосодержащих компонентов для получения пеноматериалов // *Стекло и керамика*. 2009. № 10. С. 5–8.
3. Кетов А.А. Получение строительных материалов из гидратированных полисиликатов // *Строительные материалы*. 2012. № 11. С. 22–24.
4. Казанцева Л.К., Стороженко Г.И., Никитин А.И., Киселев Г.А. Тепло-изоляционный материал на основе опокового сырья // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 85–89.
5. Kazantseva L.K. Particulars of foam glass manufacture from zeolite-alkali batch // *Glass and Ceramics*. 2013. Vol. 70. Issue 7–8, pp. 277–281.

### References

1. Ivanov K.S. Insulating material for thermal stabilization of soils. *Kriosfera Zemli*. 2011. Vol. XV. No. 4, pp. 120–122. (In Russian).
2. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Semukhin B.S., Abiyaka A.N. Low-temperature synthesis of glass granulate batches based on siliceous components for foam. *Steklo i keramika*. 2009. No. 10, pp. 5–8. (In Russian).
3. Ketov P.A. Production of construction materials from hydrated polysilicates. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 11, pp. 22–24. (In Russian).
4. Kazantseva L.K., Storozhenko G.I., Nikitin A.I., Kiselev G.A. Heat insulators based on silica clay raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 85–89. (In Russian).
5. Kazantseva L.K. Particulars of foam glass manufacture from zeolite-alkali batch. *Glass and Ceramics*. 2013. Vol. 70. Issue 7–8, pp. 277–281.

**BASKEY**

**Области применения Kerwood™**

- насыпной сухой изоляционный наполнитель полых пространств (между панелями каркасов, перекрытий ит.п.)
- наполнитель со связующим веществом или изоляционный бетон
- легкий наполнитель для всех видов штукатурок, клеящих и шпаклевочных масс
- идеальный компонент для приготовления легких теплоизолирующих строительных растворов (т. н. «теплые» швы)
- особо эффективные теплоизоляционные блоки для кладки стен и звукопоглощающих перегородок для современных кладок, с высокой степенью теплоизоляции.

**kerwood**

**Ваш идеальный дом**

454048, Россия, Челябинск, ул. Ст. Разина, 1-Б  
e-mail: nikitin-dekarta@mail.ru

**8 (351) 260-47-46**

Реклама

## Издательство «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ» для керамической промышленности предлагает

### Учебное пособие «Химическая технология керамики», изд. 2-е, дополненное

Авторы – Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С.,  
Гузман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С.

Освещены вопросы современного состояния технологии основных видов керамических изделий строительного, хозяйственно-бытового и технического назначения, а также различных видов огнеупоров. Главное внимание уделено основным процессам технологии керамики и ее свойствам. Подробно изложены характеристика различных видов сырья, проблемы подготовки керамических масс различного вида и их формование различными методами, особенности механизмов спекания, а также дополнительные виды обработки керамики: металлизация, глазурирование, декорирование, механическая обработка. Детально описаны свойства керамических изделий – механические, деформационные, теплофизические, электрофизические, в том числе при высоких температурах.

Пособие может быть полезно специалистам, работающим в области технологии керамики и огнеупоров.

### Учебное пособие «Практикум по технологии керамики»

Авторы – коллектив ученых РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Рассмотрены основные методы отбора проб, испытаний сырьевых материалов, контроля и исследования технологических процессов, а также определения свойств готовой продукции, применяемые в керамической, огнеупорной и смежных отраслях промышленности. Пособие может быть использовано не только как учебное, но и в качестве полезного руководства для инженеров заводских и научно-исследовательских лабораторий.

### Книга «Керамические пигменты»

Авторы – Масленникова Г.Н., Пищ И.В.

В монографии рассмотрены физико-химические основы синтеза пигментов, в том числе термодинамическое обоснование реакций, теория цветности, современные методы синтеза пигментов и их классификация, методы оценки качества. Приведены сведения по технологии пигментов и красок различных цветов и кристаллических структур. Описаны современные методы декорирования керамическими красками изделий из сортового стекла, фарфора, фаянса и майолики.

Книга предназначена для научных сотрудников, студентов, специализирующихся в области технологии керамики и стекла, а также для инженерно-технических работников, занятых в производстве керамических изделий и красок. Будет полезна для специалистов других отраслей промышленности, где применяются высокотемпературные пигменты.

### Книга «Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента»

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

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

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

### Книга «Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки»

Автор – Ищук М.К.

Обобщен отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегченной кладки. Показана история проектирования и строительства таких зданий. На конкретных примерах зданий, возведенных в конце 1990-х гг. рассмотрены различные дефекты наружных стен с лицевым слоем из кирпичной кладки. Приведены результаты экспериментальных и расчетно-теоретических исследований наружных облегченных стен, инженерные методы расчета различных воздействий на наружные многослойные стены и др.

### Монография «Пестроцветные глины Гжельского месторождения»

Авторы – Русович-Югай Н.С., Логинов В.М.

Под редакцией д-ра техн. наук Г.Н. Масленниковой

Монография посвящена изучению глин Гжельского месторождения с целью их использования в производствах тонкой керамики, майолики, народных промыслах, а также в архитектурной и художественной керамике. Представлены результаты геолого-разведочных работ. Показана структура и свойства глин, влияние гранулометрического, химического и минерального составов, структуры и текстуры на пластичность, пористость, огнеупорность. Изложены результаты исследования влияния различных технологических факторов и добавок на поведение различных глин Гжельского месторождения, предложена классификация глин.

**Подробнее на [www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)**

**Для приобретения специальной литературы обращайтесь в издательство**

**«СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»**

**Тел./факс: (499) 976-22-08, 976-20-36 E-mail: [mail@rifsm.ru](mailto:mail@rifsm.ru)**

УДК 691.618.93

Д.Р. ДАМДИНОВА<sup>1</sup>, д-р техн. наук (damdinova@mail.ru),  
Н.Н. АНЧИЛОЕВ<sup>1</sup>, инженер; В.Е. ПАВЛОВ<sup>2</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (670013, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40В)

<sup>2</sup> Автономное учреждение «Государственная экспертиза Республики Бурятия» (670034, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Красноармейская, 35)

## Пеностекла системы стеклобой – глина – гидроксид натрия: составы, структура и свойства

Рассматривается новый подход к проектированию составов многокомпонентных алюмосиликатных шихт для получения пеностекол с повышенными прочностными характеристиками. Прогнозирование структуры и свойств пеностекол на основе стеклобоя, глин, щелочного компонента и газообразователей осуществлено с применением физико-химических методов исследований: рентгенофазового анализа, электронной микроскопии, а также с привлечением метода математического планирования эксперимента. Были проведены исследования фазового состава исходного глинистого сырья и пеностекла. Установлено, что в пеностеклах системы стеклобой – глина – гидроксид натрия введение в шихту 2–3% (сверх массы сухой шихты) карбонатного и углеродистого газообразователей приводит к повышению средней плотности пеностекла и, как следствие, его прочности. В случае использования известняка повышение физико-механических свойств пеностекла может быть объяснено кристаллизацией омфациита. При использовании антрацита прирост плотности и прочности пеностекол обусловлен главным образом улучшением поровой структуры материала. Полученные результаты способствуют расширению сферы применимости пеностекла, например в качестве конструктивно-теплоизоляционного материала.

**Ключевые слова:** пеностекло, известняк, антрацит, омфациит, рентгенофазовый анализ.

D.R. DAMDINOVA<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (damdinova@mail.ru), N.N. ANCHILOEV<sup>1</sup>, Engineer; V.E. PAVLOV<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> East Siberia State University of Technology and Management (40V, Klyuchevskaya Street, Ulan-Ude, 670013, Republic of Buryatia, Russian Federation)

<sup>2</sup> Autonomous institution «State Examination of the Republic of Buryatia» (35, Krasnoarmeiskaya Street, Ulan-Ude, 670034, Republic of Buryatia, Russian Federation)

### Foam Glasses of Cullet – Clay – Sodium Hydroxide System: Compositions, Structures and Properties

A new approach to the design of compositions of multi-component aluminoo-silicate batch for producing the foam glass with improved strength characteristics is considered. Prediction of structure and properties of foam glasses on the basis of cullet, clays, alkali component and gas-forming agents is made with the use of physical-chemical methods of study: X-ray phase analysis, electronic microscopy as well as with the involvement of the method of mathematical planning of experiment. Study of the phase composition of the original clay raw materials and foam glass has been conducted. It is established that in case of foam glasses of the cullet – clay – sodium hydroxide system the incorporation of 2–3% of carbonate and carbon gas-forming agents into the batch (over the dry batch mass) leads to the increase of average density of foam glass and, as a consequence, its strength. When using limestone improving the physical-mechanical properties of foam glass can be explained by crystallization of omphacite. When using anthracite the growth of density and strength of foam glasses is mainly due to the improvement of porous structure of the material. The results obtained contribute to the expansion of the sphere of foam glass application, as a structural-heat insulating material, for example.

**Keywords:** foam glass, limestone, anthracite, omphacite, X-ray phase analysis.

Научно-технические результаты в области теории и практики пеностекол указывают на то, что в России еще не до конца решена проблема, касающаяся промышленного производства и масштабного применения в индустриальном строительстве пеностекла – одного из самых долговечных и надежных, но вместе с тем и дорогостоящих теплоизоляционных материалов. Для решения указанной проблемы целесообразным представляется усовершенствование технологических решений, способствующих получению пеностекол с высокой конкурентоспособностью на рынке строительных материалов.

Основываясь на ранее разработанных технологических подходах в рамках научных исследований по пеностеклу и подобным ему материалам, получаемым при обжиге вспучивающихся алюмосиликатных шихт [1–4], в настоящей статье рассматривается комплексное использование стеклобоя и местного минерального сырья в виде глин как одно из перспективных направлений в производстве пеностекла. В отличие от ранее изученных для получения пеностекла перлитов, цеолитов, витрокладистического туфа и др. глина – это порода с выраженной кристаллической составляющей фаз.

Основной целью являлась разработка энерго- и ресурсосберегающей технологии пеностекла на основе стекловых отходов и местных глин. Главными условиями для создания такой технологии в работе являются получение пеностекла по сокращенной схеме без варки стекла и снижение расхода дорогостоящих компонентов.

Исследования проводились с помощью запатентованных методов, к которым относятся механоактивация, введение в состав шихты технологических добавок, предварительная термическая подготовка и т. д. [5].

С помощью метода математического планирования установлено, что на плотность обжигового материала системы стеклобой – глина – гидроксид натрия главным образом влияют соотношение в шихте глины и стеклобоя, количество вводимого щелочного компонента и температура обжига, о чем свидетельствует уравнение регрессии (в кодированных переменных):

$$y_1 = 1300 - 77x_1 - 92x_2 + 194x_3 - 93x_1x_2 + 180x_2x_3.$$

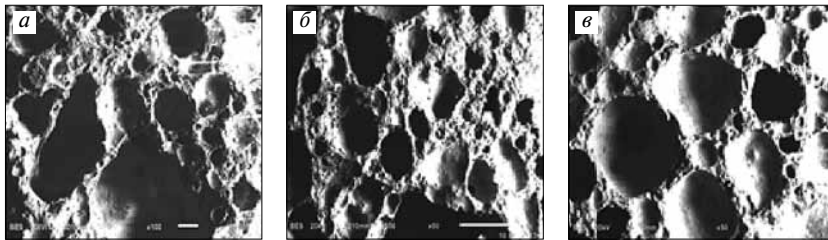
В принятом диапазоне факторного пространства снижению плотности пеностекла способствовало увеличение содержания стеклобоя ( $x_1$ ) и гидроксида натрия ( $x_2$ ), что легко объяснимо с позиций роли этих факторов как интенсификаторов плавления.

В отношении влияния фактора температуры ( $x_3$ ) на плотность имеет место кажущееся противоречие, заключающееся согласно уравнению в повышении плотности при росте температуры. Это вызвано тем, что максимальная температура обжига в диапазоне варьирования была высокой ( $T_{\text{макс}} = 1000^\circ\text{C}$ ), вследствие чего во вспениваемой при обжиге стекломассе наблюдаются диссипации внешнего воздействия, когда при превышении некоторого оптимального значения температуры из-за снижения вязкости стекломассы зарождаю-

## Влияние состава и условий помола на свойства пеностекла (Т=975°C)

№	Обозначение		Плотность образца, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности, МПа
	состава шихты*, %	состава глины**		
1	50 Гл : 50 Сб (контрольный)	а	808	8
		б	787	10
2	(50 Гл : 50 Сб) + 2% известняка	а	976	16
		б	1008	22
3	(50 Гл : 50 Сб) + 2% антрацит	а	843	11
		б	848	12

Примечания: \* Гл – глина; Сб – стеклобой (в опытных составах шихт содержание гидроксида натрия принято на уровне 4–6%); \*\* – пояснения в тексте.



Электронная микроскопия пеностеклол: а – контрольный образец; б – с добавкой известняка; в – с добавкой антрацита

щиеся поры укрупняются и схлопываются, удаляясь из расплава.

Эффекты взаимодействия в уравнении регрессии указывают на то, что для снижения плотности пеностекла целесообразно увеличивать содержание в шихте стеклобой и гидроксида натрия, а при повышенном содержании щелочного компонента нет необходимости в повышении температуры обжига.

С учетом вышеизложенного была осуществлена корректировка составов, условий помола и режимов обжига, в результате чего получено пеностекло с развитой поровой структурой. В опытные составы вводились известняк и антрацитовый уголь в количестве 2–3% сверх массы сухой шихты. Надо отметить, что эти вещества апробированы ранее в качестве газообразователя при получении пеностеклол [6, 7]. В данной работе исследовалась возможность применимости известняка и угля в пеностеклах системы стеклобой – глина – гидроксид натрия. Установлено, что пеностекла контрольного состава без введения известняка и угля вопреки ожиданиям, обладают меньшей плотностью по сравнению с пеностеклами с добавками этих веществ (табл. 1).

Рентгенофазовым анализом установлено, что в исходной глине, находящейся в составе № 1, а, содержатся кварц ( $d/p=0,334; 0,182; 0,154; 0,137$  нм); альбит ( $d/p=0,32; 0,29$  нм); микроклин ( $d/p=0,323; 0,216; 0,180$  нм); алюноген ( $d/p=0,446; 0,367; 0,246$  нм); филлипсит ( $d/p=0,638; 0,425; 0,403$  нм). В результате тонкого измельчения в барабанной мельнице глины и последующего обжига фазовый состав пеностекла № 1, а характеризуется наличием альбита ( $d/p=0,384; 0,376; 0,319; 0,256$  нм); кварца ( $d/p=0,334; 0,228; 0,182; 0,171; 0,154$  нм); диопсида ( $d/p=0,298; 0,289; 0,252$  нм); кальцита ( $d/p=0,302; 0,208; 0,191; 0,187$  нм). При этом интенсивность пиков, соответствующих исходному кварцу, на РФА пеностеклол уменьшается на 85–89%, что указывает на аморфизацию структуры кварца при обжиге пеностекла. Уменьшение до 95–98% интенсивности пиков, относимых к фазам микроклина, алюногена и филлипсита в исходной глине, а также появление новых фаз в виде диопсида и кальцита позволяют заключить, что процессы растворения некоторых фаз, аморфизации кварца и кристаллизации новых фаз при обжиге пеностекла идут параллельно.

В исходной глине, находящейся в составе № 1, б, были идентифицированы альфа-кварц, альбит, микроклин, мусковит, алюноген, лизардит и каолинит, которые в результате помола глины в вибрационной мельнице, а затем обжига пеностекла также претерпевали изменения. Так, в структуре межпоровой перегородки пеностекла с использованием состава шихты № 1, б кроме стеклофазы содержатся остаточные фазы альбита и кварца и вновь образованные фазы диопсида и кальцита. Причем интенсивность пиков, соответствующих остаточным фазам на РФА пеностеклол, уменьшается на 8–45%. Это указывает на аморфизацию структуры фаз еще на уровне механообработки, в результате чего наблюдается снижение плотности пеностекла состава № 1, б по сравнению с пеностеклом состава № 1, а.

Введение карбонатной породы – известняка способствует увеличению плотности пеностекла обоих составов – № 2, а и № 2, б. РФА структуры пеностекла состава № 2, а с добавкой известняка показал наличие в структуре пеностекла таких фаз, как альбит, омфацит ( $\text{Ca}_{0,6}\text{Na}_{0,3}\text{Mg}_{0,6}\text{Al}_{0,3}\text{Fe}^{2+}_{0,1}\text{Si}_2\text{O}_6$ ), лабрадорит, кальцит и кварц. Омфацит, как известно, кристаллизуется в условиях высокого давления [8].

Предположим, что вследствие активного выделения газовой фазы, выход которой затруднен из-за формирования плотной поверхности пеностекла, для материала межпоровых перегородок (твердого каркаса синтезируемого пеноматериала) создаются благоприятные условия для выкристаллизации омфацита. Вероятно, именно вследствие этого плотность пеностекла возросла от 808 до 976 кг/м<sup>3</sup> в случае обжига пеностекла состава № 1, а и от 787 до 1008 кг/м<sup>3</sup> в случае обжига пеностекла состава № 1, б. Следует также отметить, что омфацит в ряду обсуждаемых в данной работе фаз имеет наибольшую плотность (3400 кг/м<sup>3</sup>).

Косвенным подтверждением предположения служат результаты, полученные для пеностеклол составов 1 и 3 (табл. 1), в которых при одинаковых условиях по составу шихт, их подготовки и обжигу в фазовом составе пеностеклол контрольного образца без газообразователя (состав № 1) и с добавкой антрацита (состав № 3) омфацит не был идентифицирован.

Пеностекло с добавкой тонкоизмельченного угля характеризуется более упорядоченной поровой структурой (см. рисунок), что подтвердило роль углерода как стабилизатора процесса пенообразования в силикатных системах, на что указано еще в работах Б.К. Демидовича.

Рентгенофазовый анализ структуры межпоровой перегородки пеностекла состава № 3 с добавкой угля показал новообразования в виде андезина  $\text{Na}_{0,7-0,5}\text{Ca}_{0,3-0,5}\text{Al}_{1,3-1,5}\text{Si}_{2,7-2,5}\text{O}_8$  и диопсида  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ . Сравнение интенсивностей пиков соответствующих фаз в структуре межпоровых перегородок пеностекла позволяет заключить, что процессы аморфизации кварца и кристаллизации новых фаз идут также практически параллельно.

На основании вышеизложенного можно заключить, что при получении пеностеклол системы стеклобой – глина – гидроксид натрия наряду с фазовым составом исходной глины важную роль в формировании структуры и свойств обжигового материала играет вид газообразователя.

При этом возможны следующие сценарии формирования структуры и свойств синтезируемого материала:



1. При введении в состав исходной шихты карбонатного газообразователя показатели физико-механических свойств обжигового материала возрастают главным образом благодаря кристаллизации омфациита.

2. При введении в состав исходной шихты антрацита при незначительном росте показателя средней плотно-

сти значительно возрастает прочность пеностекла за счет улучшения его поровой структуры.

Указанные возможности при формировании структуры и свойств пеностекла создают благоприятные условия для упрочнения структуры обжигового материала и расширения сферы его применимости, например в качестве конструкционно-теплоизоляционного материала.

**Список литературы**

1. Береговой В.А., Королев Е.В., Прошина Н.А., Береговой А.М. Методика подбора и обоснование компонентного состава сырьевых смесей для изготовления теплоизоляционных пенокерамобетонов // *Строительные материалы*. 2011. № 6. С. 66–69.
2. Кетов А.А. Получение строительных материалов из гидратированных полисиликатов // *Строительные материалы*. 2012. № 11. С. 22–24.
3. Вавренюк С.И., Абрамов В.Е. Вулканические стекла Приморского края – сырье для получения пеностекла // *Вестник ВСГУТУ*. 2012. № 2 (37). С. 198–200.
4. Казанцева Л.К., Стороженко Г.И., Никитин А.И., Киселев Г.А. Теплоизоляционный материал на основе опокового сырья // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 85–88.
5. Патент РФ № 2503647. *Способ получения строительного материала* / Д.Р. Дамдинова, В.Е. Павлов, М.А. Давлетбаев, Э.М. Алексеева. Заявл. 06.08.2012. Оpubл. 10.01.2014. Бюл. № 1.
6. Стаховская Н.Э., Червонный А.И. Пеностекло из несортированных отходов стекла // *Строительные материалы*. 2012. № 11. С. 24–28.
7. Tatsuki Tsu-Mory. Omphacite-diopside vein in an omphacitite block from the Osayama serpentinite melange, Sangun-Renge metamorphic belt, southwestern Japan // *Mineralogical Magazine*. 1997. Vol. 61. pp. 845–852.

**References**

1. Beregovoy V.A., Korolev E.V., Proshina N.A., Beregovoy A.M. Methods of selection and substantiation of component composition of raw mixes for production of heat insulation foam claydite-concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 6, pp. 66–59. (In Russian).
2. Ketov A.A. Preparation of construction materials from hydrated polysilicates. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 11, pp. 22–24. (In Russian).
3. Vavrenyuk S.I., Abramov V.E. Volcanic glass of Primorskiy Krai – the raw material for producing foamed glass. *Vestnik VSGUTU*. 2012. No. 2 (37), pp. 198–200. (In Russian).
4. Kazantseva L.K., Storozhenko G.I., Nikitin A.I., Kiselev G.A. Heat insulators based on silica clay raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5. pp. 85–88. (In Russian).
5. Patent RF 2503647. *Sposob polucheniya stroitel'nogo materiala* [A method for producing a building material]. Damdinova D.R., Pavlov V.E., Davletbaev M.A., Alekseeva E.M. Declared 06.08.2012. Published 10.01.2014. Bulletin No. 1. (In Russian).
6. Stakhovskaya N.E., Chervonyi A.I. Foam glass from unsorted scrap glass. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 11, pp. 24–28. (In Russian).
7. Tatsuki Tsu-Mory. Omphacite-diopside vein in an omphacitite block from the Osayama serpentinite melange, Sangun-Renge metamorphic belt, southwestern Japan. *Mineralogical Magazine*. 1997. Vol. 61, pp. 845–852.



## Планетарные мельницы «Активатор» для заводских и исследовательских лабораторий





Мельница	«Активатор-2SL»	«Активатор-2S»	«Активатор-4M»
Количество (объем) барабанов	2 (по 250мл)	2 (по 250мл)	4 (по 1000мл)
Скорость вращения барабанов	0-1500 об/мин	0-2800 об/мин	0-1650 об/мин
Потребляемая мощность	2,2 кВт/ч	2 по 2,2 кВт/ч	18 кВт/ч
Применение	Пробоподготовка	Механохимические исследования	Наработка материала

Размеры частиц кварцевого песка, помолотого в течение 5 мин на лабораторных планетарных мельницах «Активатор»			
«Активатор-2SL»	30 % < 1 μ	60 % < 2 μ	92 % < 5 μ
«Активатор-2S»	40 % < 1 μ	77 % < 2 μ	96 % < 5 μ
«Активатор-4M»	26 % < 1 μ	60 % < 2 μ	86 % < 5 μ

**www.activator.ru**

Машиностроительный Завод «Активатор»  
Новосибирская обл., р.п. Дорогино,  
630056, Новосибирск 56, а/я 141  
Факс: +7 (38345) 710-61  
Тел.: +7 (913) 942 94 81  
e-mail: belyaev@activator.ru

О.В. КАЗЬМИНА, д-р техн. наук (kazmina@tpu.ru), В.И. ВЕРЕЩАГИН, д-р техн. наук

Национальный исследовательский Томский политехнический университет (634050, г. Томск, просп. Ленина, 30)

## Методологические принципы синтеза пеностеклокристаллических материалов по низкотемпературной технологии\*

Представлено исследование возможности регулирования процессом получения пеностеклокристаллических материалов из низкотемпературного стеклогранулята путем оптимизации состава и структуры материала. Установлены оптимальные значения критериев пригодности состава шихты, гранулята и пенообразующих смесей для получения готового материала. Показано, что прочность пеностеклокристаллического материала зависит от его микро- и макроструктуры, обусловленной вязкостью и температурным режимом, а также наличия в межпоровой перегородке частиц кристаллической фазы.

**Ключевые слова:** пеностеклокристаллический материал, прочность, низкотемпературный синтез, макроструктура, кристаллическая фаза.

O.V. KAZ'MINA, Doctor of Sciences (Engineering) (kazmina@tpu.ru), V.I. VERESHCHAGIN, Doctor of Sciences (Engineering)  
National Research Tomsk Polytechnic University (30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation)

### Methodological Principles of Synthesis of Foam-Glass-Crystal Materials According to Low-Temperature Technology\*

The research in possibility to regulate the process of producing foam-glass-crystal materials from low-temperature quenched cullet by means of optimization of the composition and structure of the material is presented. Optimal values of validity criteria of compositions of batch, granulates, and foam-forming mixes for producing the finished material are established. It is shown that the strength of foam-glass-crystal material depends on its micro- and macrostructures stipulated by viscosity and temperature conditions as well as on the presence of crystal phase particles in the interpore partition.

**Keywords:** foam-glass-crystal material, strength, low-temperature synthesis, macrostructure, crystal phase.

Вопросами расширения сырьевой базы для производства пеностеклольных материалов занимаются как в России, так и за рубежом. Европейские исследования направлены в основном на использование различных видов стеклобоя, например стекла электронно-лучевых трубок, экранов компьютеров и т. п. [1–3]. Отечественные исследователи рассматривают в качестве исходного сырья как стеклобой, так и различные виды природных и техногенных сырьевых материалов [4–6].

Основными компонентами исходной шихты для получения пеностеклокристаллических материалов (далее ПСКМ) использованы природные и техногенные кремнеземистые и алюмосиликатные материалы [7, 8]. Кремнеземистое сырье представлено такими материалами, как диатомит, опока, маршаллит, отсеvy кварцевых песков, микрокремнезем. Алюмосиликатное сырье – цеолиты, перлиты, золы и золошлаковые отходы ТЭЦ. В зависимости от вида сырья состав шихты корректируется различными добавками, например такими как кальцинированная сода и (или) доломит.

Целью исследования стала разработка критериев пригодности состава композиций для получения ПСКМ по низкотемпературной технологии.

Технология основана на порошковом способе и включает две основные стадии. Первая – получение стеклогранулята в условиях низкотемпературного (не больше 900°C) синтеза. При этом процесс стеклообразования осуществляется на стандартном для промышленности строительных материалов оборудовании, без применения высокозатратных и энергоемких стекловаренных печей, работающих при температуре выше 1450°C. Вторая стадия – приготовление пенообразующей смеси из порошка стеклогранулята с газообразова-

телем, процесс вспенивания с получением готового пеноматериала.

Двухстадийная технология получения ПСКМ позволяет поэтапно оптимизировать структуру и свойства материала в зависимости от его назначения. На первом этапе решается задача синтеза стеклогранулята с заданными характеристиками, управлять которыми можно за счет рецептурных и технологических факторов. На втором – осуществляется управление основными показателями макро- и микроструктуры материала.

В результате термообработки шихт в области температур не менее 0,8 от температуры ликвидуса в системе не достигается равновесия и сохраняется кристаллическая фаза. Ее количество в грануляте не должно превышать 25%. После вспенивания содержание кристаллической фазы снижается до значений от 15 до 4%. Состав и режим термообработки шихты должны обеспечивать количество образующегося расплава не менее 75% при температуре до 900°C. Основными требованиями к исходному материалу являются его тонкодисперсность (средний размер частиц менее 100 мкм) и химический состав, к шихте – устойчивость к стеклообразованию, количество образующегося расплава и его реологические свойства.

Анализ поведения оксидных смесей в системах  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  позволяет выделить области, пригодные для получения низкотемпературного гранулята и пеноматериалов на их основе. В реальных шихтах химический состав отличается от модельных, но соотношение стеклообразующих, щелочных и щелочно-земельных оксидов сохраняется. С использованием данного подхода моделируются и кристаллизующиеся составы. Для сравнительного анализа опробован кристаллизующийся состав, полученный на

\* Статья является теоретическим обобщением экспериментальных работ, проводимых на кафедре технологии силикатов и наноматериалов Томского политехнического университета, в области синтеза пеностеклокристаллических материалов по низкотемпературной технологии. Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ «Наука» № 1235.

\* This article is a theoretical generalization of experimental works conducted at the Chair of silicate and nanomaterials technology of the Tomsk Polytechnic University in the field of synthesis of foam-glass-crystal materials with the use of low-temperature technology. Work is executed at financial support of GZ "Science" № 1235.

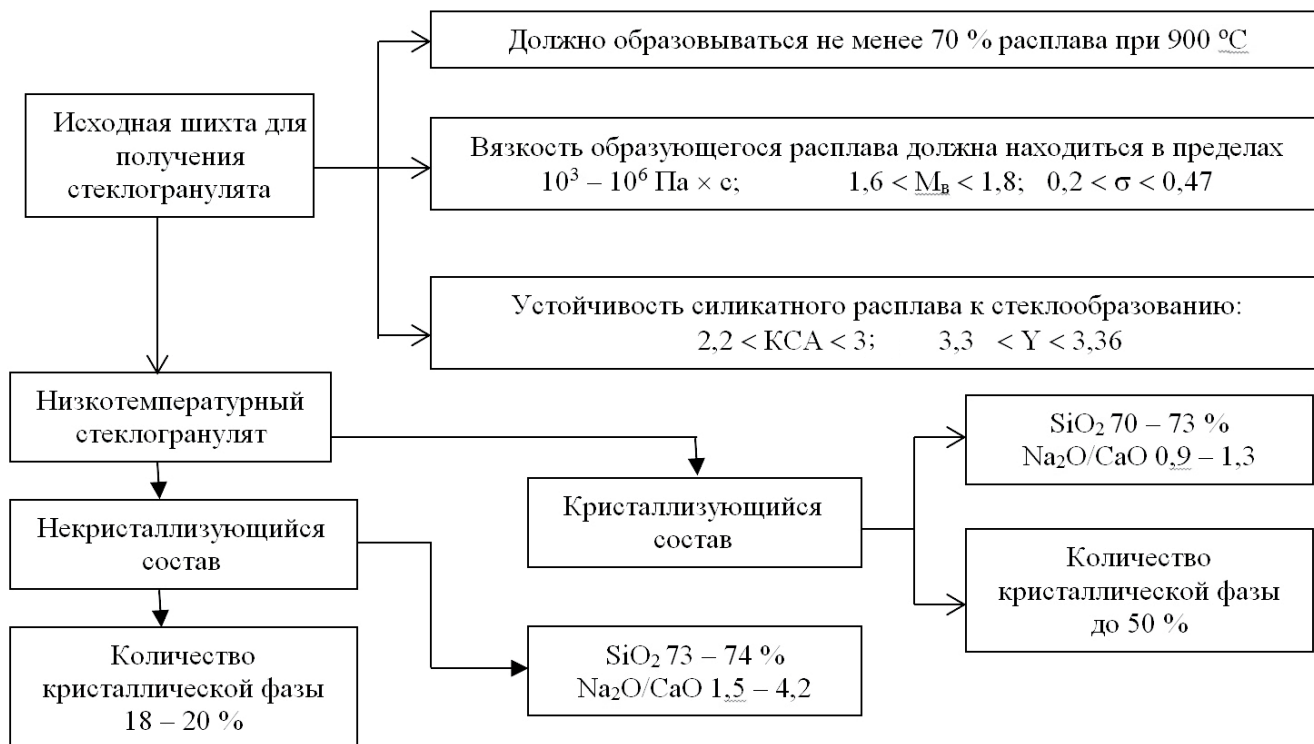


Рис. 1. Критерии оценки пригодности состава шихты и гранулята для получения ПСКМ

**Таблица 1**  
**Значения критериев пригодности силикатных расплавов систем Na₂O–CaO–SiO₂ и Na₂O–Al₂O₃–SiO₂ для получения пеностеклокристаллических материалов**

Составы	Содержание оксидов, мас. %				Значения показателей			
	Na₂O	CaO	SiO₂	Al₂O₃	Mв	Y	KCA	σ, Н/м
Кремнеземистые	16	12	72	–	1,6	3,33	2,4	0,34
	18	9	73	–	1,6	3,34	2,4	0,33
	21	5	74	–	1,6	3,35	2,3	0,32
Алюмосиликатные	22	–	73	5	1,9	3,39	2,3	0,32
	23	–	67	10	2	3,28	2,4	0,33
	22	–	63	15	2,1	3,25	2,4	0,34

**Примечание.** Формулы для расчета значений критериев:  
 $M_b = (M_{SiO_2} + M_{Al_2O_3}) / (2 \cdot M_{Fe_2O_3} + M_{CaO} + M_{MgO} + 2 \cdot M_{Na_2O})$ ;  
 $Y = (\sum m_i x_i z - \sum m_i x_k) / \sum m_i x_i$ ;  
 $KCA = O / (Si + 0,75 \times Al)$ ;  
 $\sigma = \sum (n_i \cdot \sigma_i) / \sum n_i$ .

основе кремнеземистого сырья со следующим содержанием основных оксидов, мас. %: Na₂O–14; CaO–16; SiO₂–70 [9].

Количество кристаллической фазы в грануляте определяет вязкость системы, выше которой вспенивания не происходит. Вязкость расплава должна находиться в пределах 10³–10⁶ Па·с. Достижение вязкости, позволяющей вспениваться композиции, наблюдается при температуре менее 850°C. Кристаллизующиеся составы вспениваются при более высокой температуре, что зависит от количества образующейся кристаллической фазы и размера ее частиц.

Допустимые значения критериев, в качестве которых выбраны модуль вязкости (Mв), фактор связности (Y), коэффициент структуры аниона (KCA) и поверхностное натяжение (σ), приведены в табл. 1. Согласно предложенным критериям выбраны модельные кремнеземистые и алюмосиликатные составы, отвечающие данным требованиям. Составы характеризуются достаточно высоким содержанием SiO₂ (73–74 мас. %) и из-

менением соотношения щелочно-земельных и щелочных оксидов CaO/Na₂O в пределах от 0,2 до 0,7. Для алюмосиликатных смесей при содержании SiO₂ от 62 до 73 мас. %, отношение SiO₂/Al₂O₃ меняется в пределах от 4,1 до 14,6 при постоянном содержании Na₂O (22–23 мас. %). Значение модуля вязкости должно находиться в пределах 1,6–1,8 (рис. 1).

Исследование поведения стеклогранулята кремнеземистых и алюмосиликатных составов при термообработке, проведенное с использованием рентгеноструктурного, дифференциально-термического методов анализа и электронной микроскопии, показало их существенное отличие. В некристаллизующихся составах количество остаточной кристаллической фазы, представленной в основном кварцем, не превышает 16%. В кристаллизующихся составах появляется новая фаза в виде волластонита. Количество кристаллической фазы в грануляте до 20%.

При получении пеноматериала на основе некристаллизующегося стеклогранулята происходит уменьшение



Рис. 2. Критерии оценки пригодности пенообразующей смеси для получения ПСКМ

Таблица 2

## Физико-механические свойства пористых материалов

Свойства	Пеностеклокристаллический материал				Пеностекло (блоки)
	На основе кремнеземистого сырья				
	Отсевы песка	Маршаллит	Диатомит	Опока	
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	300–340	250–300	180–200	197–220	100–250
Прочность при сжатии, МПа	4,2–4,5	3,5–4,3	2,6–2,8	2,8–3,1	1,0–1,5
Коэффициент прочности	1,35	1,473	1,42	1,42	0,8
Водопоглощение объемное, %	4–5	3–4	2–3	2–3	не более 5
Теплопроводность при 20°C, Вт/(м·К)	0,08–0,09	0,07–0,08	0,06–0,07	0,06–0,08	0,06–0,08
Свойства	На основе алюмосиликатного сырья				Керамзит
	Цеолит	Перлит	Золошлак (нк)*	Золошлак (вк)**	
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	330–350	220–250	230–250	
Прочность при сжатии, МПа	4,3–4,6	2,8–3,1	3,5–4,2	3,8–4,3	0,6–4,5
Коэффициент прочности	1,31	1,26	1,55	1,7	0,4
Водопоглощение объемное %	4–7	2–3	4–5	4–5	8–20
Теплопроводность при 20°C, Вт/(м·К)	0,08–0,09	0,07–0,08	0,07–0,08	0,07–0,08	0,10–0,16

Примечание. \* Золошлак (нк) – золошлак низкокальциевый; \*\* золошлак (вк) – золошлак высококальциевый.

остаточной кристаллической фазы до 4–10 об. % с размером менее 1 мкм. При получении пеноматериала на основе кристаллизующегося стеклогранулята происходит увеличение количества кристаллической фазы. Выдержка при максимальной температуре не более 30 мин и присутствие в исходном стеклогрануляте кристаллической фазы не более 18 об. % обеспечивают в межпоровой перегородке кристаллизацию волластонита до 50 об. %. При этом на электронных микроснимках фиксируются наноразмерные образования, связанные с формированием зародышей кристаллов волластонита. При использовании алюмосиликатного сырья в готовом материале наблюдается остаточный кварц и кристаллические фазы, изначально присутствующие в исходном сырье (альбит, анортит).

Таким образом, одним из критериев пригодности стеклогранулята при получении ПСКМ повышенной механической прочности является количество кристаллической фазы и размер ее частиц. Экспериментально установлено, что присутствие в межпоровой перегородке материала частиц кристаллической фазы в количестве 5–7% и размером до 500 нм повышает прочность пеноматериала свыше 2 МПа [10].

При переходе на уровень макроструктуры готового ПСКМ рассмотрены требования к пенообразующим смесям, позволяющие прогнозировать возможность получения из них качественного пеноматериала. Для это-

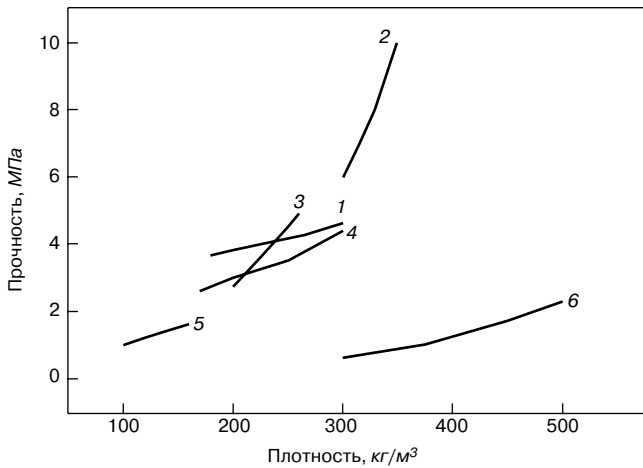
го на основе разных видов стеклогранулята с добавлением газообразователя готовилась пенообразующая смесь. Экспериментально установлено, что порошки, приготовленные из некристаллизующегося стеклогранулята, вспениваются в интервале температуры 750–850°C, образуя однородную мелкопористую структуру с преобладающим размером пор до 1 мм. В то время как вспенивание порошков кристаллизующегося состава с образованием подобной структуры возможно только при температуре 900–950°C.

В качестве критерия оценки макроструктуры предложен показатель степени неоднородности ( $C_n$ ), для расчета которого по формуле (1) учитывается количество мелких пор (<0,5 мм), средних (1–3 мм) и крупных (>3 мм):

$$C_n = |(C_{\max}m_k - C_{\min}m_m)/C_{\text{ср}}m_c| \cdot 100, \% \quad (1)$$

где  $C_{\max}$  – средний размер крупных пор, мм;  $C_{\min}$  – средний размер мелких пор, мм;  $C_{\text{ср}}$  – средний размер преобладающих пор, мм;  $m_k$ ,  $m_m$ ,  $m_c$  – количество крупных, мелких и преобладающих пор.

Установлено, что степень неоднородности образцов ПСКМ с высокооднородной структурой  $C_n < 10\%$ , а для средне- и неоднородной структуры составляет  $C_n = 11–20$  и  $C_n > 21\%$  соответственно. Размеры пор полученных образцов ПСКМ в зависимости от режима вспенивания



**Рис. 3.** Зависимость прочности от плотности пористых материалов: 1 – пеноматериал высококальциевого состава; 2 – пеноматериал кристаллизующегося состава; 3 – пеноматериал низкокальциевого состава; 4 – пеноматериал некристаллизующегося состава; 5 – промышленное пеностекло; 6 – керамзит

изменяются в широком диапазоне от 0,5 до 5 мм, а в некоторых случаях и выше. Для исследуемых составов установлено, что высокую степень неоднородности имеют образцы с крупнопористой структурой, а наименьшую – с размером пор 1–2 мм, при котором наблюдается наиболее однородная структура.

В качестве сравнительных показателей, характеризующих процесс вспенивания шихт различных составов, предложены окислительный коэффициент и коэффициент эффективного вспенивания. Окислительный коэффициент характеризует количественное соотношение окислителей и восстановителей в пенообразующей смеси и исходной стекольной шихте с учетом их содержания и показателя химической потребности в кислороде ХПК (ф. 2). Она определяется по стандартной методике путем окисления восстановителей шихты избытком бихромата калия с дальнейшим титрованием его остатка 0,1 Н раствором соли Мора:

$$K_o = (ХПК_r \cdot M_r + ХПК_o \cdot M_o) / (\sum_{ХПК_i} \cdot M_i), \quad (2)$$

где ХПК<sub>r</sub>, ХПК<sub>o</sub>, ХПК<sub>i</sub> – химическая потребность в кислороде 100 гр. углеродсодержащего газообразователя, окислителя, *i*-го компонента исходной шихты, мг; M<sub>r</sub>, M<sub>o</sub> – количество газообразователя, окислителя в пенообразующей смеси, мас. %; M<sub>i</sub> – количество *i*-го компонента в исходной шихте, мас. %.

Коэффициент эффективного вспенивания (K<sub>v</sub>) показывает степень увеличения объема образца в процессе термообработки при получении пористого материала с выбранными характеристиками структуры, а именно степенью неоднородности не более 12, средним размером пор и межпоровой перегородки не более 1,5 мм и 90 мкм соответственно. Для определения коэффициента K<sub>v</sub> пенообразующая смесь готовится в виде образцов цилиндрической формы (P<sub>пр</sub>=1 МПа), высотой и диаметром 10 мм, с последующей термообработкой в трубчатой печи при различном температурном режиме, с изменением максимальной температуры вспенивания и выдержки при ней. Для каждой пенообразующей шихты подбирались оптимальные с точки зрения получения макроструктуры условия, при которых для образца рассчитывалось значение эффективного коэффициента вспенивания (ф. 3). Данная методика позволяет относительно быстро определить для шихты определенного состава оптимальный режим вспенивания:

$$K_v = (V_k - V_n) / V_n, \quad (3)$$

где V<sub>k</sub>, V<sub>n</sub> – объем вспененного и начального образца, мм<sup>3</sup>.

По результатам экспериментально полученных данных исследуемые пенообразующие смеси разделены на три группы: высоковспенивающиеся (K<sub>v</sub>≥8), средневспенивающиеся (K<sub>v</sub>=4–7), низковспенивающиеся (K<sub>v</sub><4).

По результатам экспериментально полученной зависимости K<sub>v</sub> от окислительного коэффициента, изменяющегося в интервале от 15 до 150, пенообразующие смеси разделены на группы: окислительная (K<sub>o</sub><25), переходная (окислительно-восстановительная) (25<K<sub>o</sub><100) и восстановительная (K<sub>o</sub>>100).

Установлено, что для пенообразующих смесей переходной группы характерна однородная мелкопористая структура, в то время как для окислительных и восстановительных групп наблюдается высокая степень неоднородности структуры. Все пенообразующие смеси, полученные на основе стеклогранулята из кремнеземистого сырья, попадают в область оптимальных значений K<sub>o</sub>.

Таким образом, оптимальными для вспенивания являются пенообразующие смеси, значение окислительного коэффициента которых находится в пределах 25–100, т. е. относящиеся к переходной окислительно-восстановительной группе. Окислительные и восстановительные пенообразующие смеси, K<sub>o</sub><25 и K<sub>o</sub>>100 соответственно, характеризуются низким коэффициентом вспенивания K<sub>v</sub><3 и высокой степенью неоднородности, что требует корректировки состава, путем изменения соотношения восстановителя и окислителя. Макроструктура пеностеклокристаллических образцов, полученных из стеклогранулята на основе кремнеземистых сырьевых материалов, характеризуется высокой степенью однородности (C<sub>n</sub><10%) и оптимальными размерами пор и межпоровой перегородки (не более 1,5 мм и 50 мкм), что позволяет получить материал с плотностью 170–350 кг/м<sup>3</sup>. Критерии оценки пригодности пенообразующей смеси для получения качественного ПСКМ представлены на рис. 2.

Как видно из представленных в табл. 2 данных, синтезированный материал характеризуется относительно низкой средней плотностью, достаточной высокой прочностью, малой теплопроводностью и низким водопоглощением. Зависимость прочности различных видов пористых материалов от плотности, являющаяся линейной, показывает, что ПСКМ отличается от пеностекла и керамзита (рис. 3). При плотности материала от 150 до 250 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует пеностеклу, он превышает его по прочности в 2,3 раза. При плотности от 300 до 370 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует качественному керамзиту, он превышает его по прочности в 1,8 раза с водопоглощением не более 7%. Зависимость между прочностью и плотностью отличается углом наклона для кристаллизующихся и некристаллизующихся составов. Это позволяет разделить данные материалы по значению коэффициента прочности на две группы и выделить пеностеклокристаллические материалы повышенной механической прочности.

Макроструктура пеностеклокристаллических образцов, полученных из стеклогранулята, характеризуется высокой степенью однородности и оптимальными размерами пор и межпоровой перегородки (не более 1,5 мм и 50 мкм), что позволяет получить материал плотностью 150–350 кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, границы возможностей управления структурой и свойствами пеноматериала определяются химическим и гранулометрическим составом исходной шихты, температурными режимами получения гранулята и вспенивания. Предложенные значения выбранных критериев целесообразно применять для уточнения со-

става стеклогранулята при изменении компонентного состава шихт и пенообразующих смесей.

### Выводы

1. Области составов, пригодные для получения низкотемпературного гранулята и пеноматериала на его основе, содержат: 73–74 мас. %  $\text{SiO}_2$  при соотношении  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$  от 0,2 до 0,7 (система N–C–S); 62–73 мас. %  $\text{SiO}_2$  при соотношении  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  от 4,1 до 14,6 при постоянном содержании  $\text{Na}_2\text{O}$  (22–23 мас. %) (система N–A–S). Это обеспечивает протекание процессов силиката- и стеклообразования при температуре не более 950°C.

2. Состав и структура ПСКМ определяются как составом гранулята, так и температурным режимом вспенивания. При использовании кремнеземистого сырья кристаллическая фаза представлена в основном остаточным кварцем (некристаллизующийся состав) или волластонитом (кристаллизующийся); при использовании алюмосиликатного сырья наблюдается остаточный кварц и кристаллические фазы, изначально присутствующие в исходном сырье (альбит, анортит). Количество кристаллической фазы в грануляте не превышает 20%, что обеспечивает вязкость системы в области вспе-

нивания (800–850°C) в пределах  $10^3$ – $10^6$  Па·с. Для достижения данной вязкости расплава кристаллизующегося состава температура вспенивания увеличивается до 900–950°C.

3. Критериями оценки пригодности пенообразующей смеси для получения ПСКМ являются окислительный коэффициент и степень неоднородности структуры. Оптимальными для вспенивания являются смеси, значение окислительного коэффициента которых находится в пределах 25–100, степень неоднородности до 10%.

4. Прочность ПСКМ зависит от его микро- и микроструктуры, обусловленной вязкостью и температурным режимом, и наличия в межпоровой перегородке части кристаллической фазы (количество до 5–7%, размер не более 300 нм). При образовании в межпоровой перегородке наноразмерной кристаллической фазы прочность материала достигает 3 МПа. Для кристаллизующегося гранулята наблюдается увеличение количества кристаллической фазы (до 50%), что обеспечивает прочность пеноматериала до 10 МПа. Оптимальным с точки зрения прочности является размер пор не более 1,5 мм и толщина межпоровой перегородки до 50 мкм.

### Список литературы

1. Chul-Tae Lee. Production of alumino-borosilicate foamed glass body from waste LCD glass // *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2013. V. 19, pp. 1916–1925.
2. Fernandes H., Andreola F., Barbieri L., Lancellotti I., Pascual MJ., Ferreira JMF. The use of egg shells to produce cathode ray tube glass foams // *Ceramics international*. 2013. V. 39, pp. 9071–9078.
3. Guo H.W., Gong Y.X., Gao SY. Preparation of high strength foam glass-ceramics from waste cathode ray tube // *Materials letters*. 2010. V. 64, pp. 997–999.
4. Казанцева Л.К., Верещагин В.И., Овчаренко Г.И. Вспененные керамические теплоизоляционные материалы из природного сырья // *Строительные материалы*. 2001. № 4. С. 33–35.
5. Яценко Е.А., Смолий В.А., Косарев А.С., Дзюба Е.Б., Грушко И.С., Гольцман Б.М. Физико-химические свойства и структура пеношлакостекла на основе отходов ТЭС // *Стекло и керамика*. 2013. № 1. С. 3–6.
6. Дамдинова Д.Р., Павлов В.Е., Алексева Э.М. Пеностекло как основа для получения облицовочных материалов с регулируемой поровой структурой // *Строительные материалы*. 2012. № 1. С. 44–45.
7. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Абияка А.Н. Расширение сырьевой базы для получения пеностеклокристаллических материалов // *Строительные материалы*. 2009. № 7. С. 54–56.
8. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Семухин Б.С., Абияка А.Н. Низкотемпературный синтез стеклогранулята из шихт на основе кремнеземсодержащих компонентов для получения пеноматериалов // *Стекло и керамика*. 2009. № 10. С. 5–8.
9. Елистратова А.В., Казьмина О.В. Исследование влияния кристаллизационных процессов на свойства пеностеклокристаллических материалов // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2013. Т. 56. № 12/2. С. 105–109.
10. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Семухин Б.С., Мухортова А.В., Кузнецова Н.А. Влияние кристаллической фазы межпоровой перегородки на прочность стеклокристаллического пеноматериала // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2011. Т. 54. № 11/3. С. 238–241.

### References

1. Chul-Tae Lee. Production of alumino-borosilicate foamed glass body from waste LCD glass. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2013. Vol. 19, pp. 1916–1925.
2. Fernandes H., Andreola F., Barbieri L., Lancellotti I., Pascual MJ., Ferreira JMF. The use of egg shells to produce cathode ray tube glass foams. *Ceramics International*. 2013. Vol. 39, pp. 9071–9078.
3. Guo H.W., Gong Y.X., Gao S.Y. Preparation of high strength foam glass-ceramics from waste cathode ray tube. *Materials Letters*. 2010. Vol. 64, pp. 997–999.
4. Kazantseva L.K., Vereshchagin V.I., Ovcharenko G.I. Foamed ceramic insulation materials from natural raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2001. No. 4, pp. 33–35. (In Russian).
5. Yatsenko E.A., Smolii V.A., Kosarev A.S., Dzyuba E.B., Grushko I.S., Gol'tsman B.M. Physical-chemical properties and structure of foamed slag glass based on thermal power plant wastes. *Glass and Ceramic*. 2013. Vol. 70. No. 1–2. pp. 3–6.
6. Damdinova D.R., Pavlov V.E., Alekseeva E.M. Foam glass as the base for facing materials with controlled porous structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 1, pp. 44–45. (In Russian).
7. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Abiyaka A.N. Expansion of raw materials base for production of foam-glass-crystal materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 7, pp. 54–56. (In Russian).
8. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Semukhin B.S., Abiyaka A.N. Low-temperature synthesis of the quenched cullet from the silica-based batch in production of foam materials. *Glass and Ceramics*. 2009. Vol. 66. No. 9–10, pp. 341–344.
9. Elistratova A.V., Kaz'mina O.V. Investigation of the influence of crystallization processes on the properties of foam glass-ceramic materials. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika*. 2013. Vol. 56. No. 12/2, pp. 105–109. (In Russian).
10. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Semukhin B.S., Mukhortova A.V., Kuznetsova N.A. Effect of crystalline phase partitioning interporous strength glass crystalline foam. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika*. 2011. Vol. 54. No. 11/3, pp. 238–241. (In Russian).

Б.Я. ТРОФИМОВ, д-р техн. наук (tbya@mail.ru), Л.Я. КРАМАР, д-р техн. наук  
Южно-Уральский государственный университет (454080, Россия, г. Челябинск, пр. Ленина, 76)

## Деформации и стойкость бетона при циклическом замораживании

Приведены теоретическое обоснование и экспериментальные подтверждения причин морозной агрессии в бетоне. Рассмотрены особенности воздействия на цементный камень и бетон замораживания в солевых растворах. Показано, что требования нормативов по обеспечению воздухоовлечения при производстве морозостойких дорожных и гидротехнических бетонов для высокопрочных бетонов не всегда эффективны. Установлено, что для обеспечения морозостойкости высокопрочных бетонов без воздухоовлечения необходимо низкое водоцементное соотношение и применение активных минеральных добавок, способствующих формированию низкоосновных гидросиликатов кальция гелеобразной структуры, стойкой к выщелачиванию.

**Ключевые слова:** дорожный бетон, гидротехнический бетон, морозостойкость, циклическое замораживание и оттаивание, воздухоовлечение, льдообразование, пористость, деформации, активные минеральные добавки.

B.Ya. TROFIMOV, Doctor of Sciences (Engineering) (tbya@mail.ru), L.Ya. KRAMAR, Doctor of Sciences (Engineering), South Ural State University (National Research University) (76, Lenina Ave., 454080, Chelyabinsk, Russian Federation)

### Deformations and Durability of Concrete During Cyclic Freezing

Theoretical substantiation and experimental verifications of reasons for frost aggression in concrete are presented. Features of effect of freezing in salt solutions on the cement stone and concrete are considered. It is shown that the requirements of standards to ensure the air entrainment in the course of production of frost-resistant road and hydraulic concretes are not always effective for high-strength concretes. It is established that to ensure the frost resistance of high-strength concretes without air entrainment, the low water-cement-ratio and the use of active mineral additives which favour the formation of low-basic calcium hydro-silicates of the gel-like structure resistant to leaching are necessary.

**Keywords:** road concrete, hydraulic concrete, frost-resistance, cyclic freezing and thawing, air entrainment, ice formation, porosity, deformation, active mineral additives.

Одним из направлений применения цементных бетонов является широкое их использование в дорожном строительстве. Протяженность дорог в США 6506 тыс. км, в Германии – 644 тыс. км, во Франции – 951 тыс. км, в России – 982 тыс. км. Дорожное строительство в России в настоящее время интенсивно развивается. До 2018 г. намечено построить не менее 120 тыс. км дорог. В современном мире строительству дорог с цементобетонными покрытиями уделяется особое внимание и они составляют от общей протяженности в Китае – 22%, Германии – 31%, Бельгии – 41%, США – 35%, а в России только 9%.

Достоинством цементобетонных дорожных покрытий являются:

- повышенный срок службы – 26 лет (для асфальтобетонных 10–15 лет);
- стоимость 1 км трассы 26 млн р. (асфальтобетонных – 25 млн р.);
- устойчивость к истиранию, высокий коэффициент сцепления основания с колесами;
- высокие прочность и деформативность покрытия независимо от температуры и влажности, отсутствие колеи.

Дорожные и аэродромные покрытия представляют собой армированные или неармированные плиты на упругом основании, которые изгибаются под действием переменных транспортных нагрузок. Поэтому основ-

ным расчетным напряжением является прочность бетона при изгибе  $R_{изг}$ . Увеличение  $R_{изг}$  с 4–5 МПа до 6–6,5 МПа повышает срок службы дорожного покрытия с 20 до 30–50 лет. Прочность бетона при изгибе зависит от активности цемента – его прочности при изгибе  $R_{ц,изг}$  и плотности цементного камня, определяемой величиной Ц/В:

$$R_{изг} = 0,39 R_{ц,изг} (Ц/В - 0,1)(1 - 0,025ВВ),$$

где ВВ – % вовлеченного воздуха от объема бетона.

Морозостойкость дорожного бетона является важнейшей характеристикой его долговечности, особенно при насыщении покрытия водными растворами антиобледенителя, и оценивается марками по морозостойкости F50–F1000.

Другое направление использования бетонных и железобетонных конструкций – гидротехническое строительство. Для гидротехнического бетона с маркой по морозостойкости не ниже F200, эксплуатируемого в насыщенном морской или минерализованной водой состоянии, регламентируемое по ГОСТ 26633–91 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия», воздухоовлечение должно назначаться в зависимости от наибольшей крупности заполнителя (табл. 1).

По EN 206-1 «Бетон – Общие технические требования, производство и контроль качества» для сред

Таблица 1

НК заполнителя, мм	Воздухововлечение, % по объему, при В/Ц		
	Менее 0,41	0,41–0,5	Более 0,5
10	3±1	4±1	6±1
20	2±1	3±1	5±1
40	2±1	2±1	4±1
80	2±1	2±1	3±1

эксплуатации с циклическим замораживанием бетонных и железобетонных конструкций XF2 — при умеренном водонасыщении с применением антиобледенителя; XF3 — при сильном водонасыщении без антиобледенителя; XF4 — при сильном водонасыщении, в том числе морской водой, с применением антиобледенителя (минимальное воздухововлечение при изготовлении бетона должно быть 4%).

При анализе нормативных требований по воздухововлечению возникает вопрос, каким должно быть воздухововлечение для высокопрочных морозостойких бетонов с низкими водоцементными отношениями.

Морозостойкость — способность материалов в состоянии насыщения жидкой фазой (водой или для дорожного бетона 5% раствором хлорида натрия) не разрушаться при циклическом замораживании и оттаивании. Эта характеристика чаще всего определяет продолжительность межремонтных сроков дорожных покрытий и зависит: от объема, размеров пор и капилляров, наличия вовлеченного воздуха, от степени насыщения жидкой фазой, от состава жидкой фазы, от скорости и температуры замораживания, от В/Ц, структуры и состава гидратных фаз цементного камня, от качества исходных материалов, от состава, качества и степени уплотнения бетонной смеси, от длительности и качества ухода за бетоном и т. д. — всего более 100 факторов.

В первую очередь для получения высокоморозостойких бетонов необходимы материалы строго определенных свойств и качества.

Цементы должны соответствовать ГОСТ Р 55224—2012 «Цементы для транспортного строительства. Технические условия». Для бетона дорожных и аэродромных покрытий, мостовых конструкций и железобетонных изделий рекомендуются только портландцементы Цем I, Цем II / АШ (с добавкой доменного граншлака до 15%). Начало схватывания цемента не менее 2 ч, без ложного схватывания,  $C_3A$  не более 7% по массе, щелочей в пересчете на  $Na_2O$  не более 0,8%, не допускается использование пластифицированного и гидрофобного цемента. Для гидротехнического бетона рекомендуются: портландцемент и портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент и сульфатостойкие цементы по ГОСТ 10178—85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия», ГОСТ 31108—2003 «Цементы общестроительные. Технические условия», ГОСТ 22266—94 «Цементы сульфатостойкие. Технические условия». Заполнители чистые, фракционированные, с постоянным зерновым составом, без вредных примесей, плотные, прочные, морозостойкие. Вода по ГОСТ 23732—2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия». Химические добавки водоредуцирующие, воздухововлекающие и стабилизирующие по ГОСТ 24211—2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия».

Наиболее распространенным представлением о разрушении бетона при циклическом замораживании считается гипотеза гидравлического давления воды, отжимаемой льдом из зоны промерзания (гипотеза Т.К. Пауэрса). Согласно этой гипотезе, охлаждение воды начинается с поверхности и это приводит первоначально к образованию льда в устьях капилляров, которые как бы закупориваются ледяными пробками. Замерзание воды при охлаждении более удаленного от поверхности слоя бетона сопровождается увеличением объема льда на 9,07%, что вызывает возникновение избыточного давления в еще не замерзшей воде, которая как бы отжимается в глубь бетона. Проталкивание воды через сужения пор и микрокапилляров сопровождается повышением давления, которое передается на стенки пор и капилляров, приводя их в напряженное состояние. Под действием напряжений возникают локальные

деформации цементного камня в бетоне, которые вызывают микроразрушения, накапливающиеся с увеличением числа циклических замораживаний.

На основании этих представлений Т.К. Пауэрсом сделаны очень важные практические выводы о критической степени водонасыщения бетона, которая не должна превышать примерно 91% порового объема для размещения образующихся кристаллов льда, о необходимости воздухововлечения для обеспечения резервных объемов, куда может отжиматься вода при льдообразовании. Во всем мире в настоящее время принято обеспечивать морозостойкость бетона путем вовлечения воздуха при приготовлении бетонной смеси. Это мероприятие до трех раз увеличивает марку бетона по морозостойкости. Наличие в бетоне вовлеченного воздуха или газа в виде пузырьков диаметром 100—500 мкм снижает гидравлическое давление тем больше, чем ближе к опасному капилляру расположена воздушная полость. Если воздушные пузырьки расположены достаточно близко к капилляру, в котором замерзает вода (по Т.К. Пауэрсу этот «фактор расстояния» должен быть не более 0,0254 см), то гидравлическое давление не превысит прочность бетона на растяжение и его разрушения не произойдет.

По данным Г. Вербека, разрушения бетона при циклическом замораживании не происходит, если цементно-песчаная матрица содержит равномерно распределенные газонаполненные пузырьки, обеспечивающие фактор расстояния менее 0,02 см для обеспечения стойкости бетона при морозной агрессии в суровых условиях эксплуатации. Комитет 201 — Американского института бетона рекомендует воздухововлечение в пределах 4—7,5% от объема бетона при уменьшении наибольшей крупности заполнителей от 150 до 9,5 мм.

Но при изменении расхода цемента в бетоне при постоянном В/Ц и воздухововлечении фактор расстояния будет существенно меняться (до двух раз), причем с ростом расхода цемента он будет увеличиваться, что приведет к снижению морозостойкости бетона. На практике отмечается обратная тенденция — снижение морозостойкости с уменьшением расхода цемента. Установлено, что для некоторых технологий воздухововлечение неприемлемо, например при прессовании увеличение содержания воздуха в смеси может привести к растрескиванию изделий.

Деформации водонасыщенного бетона при замораживании на воздухе и оттаивании в воде изучены достаточно хорошо К.Г. Красильниковым, А.Ф. Тарасовым, С.Ф. Бугримом, Е.И. Слепокуровым и др., а сведения о деформациях при циклическом замораживании образцов бетона в воде и в растворе антиобледенителя ограничены. Ранее проводимые авторами исследования стойкости гидратных фаз цементного камня бетона к старению и их взаимосвязь с деформативными свойствами и морозостойкостью бетона подтверждаются исследованиями последнего времени [1, 2].

Цель работы: исследование возможности получения дорожных бетонов высокой морозостойкости без воздухововлечения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить деформации бетона и особенности их протекания при циклическом замораживании и оттаивании;
- определить причины расширения бетона при замораживании на воздухе, в воде и в водных растворах хлорида натрия;
- установить особенности деформирования образцов бетона при оттаивании;
- выявить факторы, уменьшающие или предотвращающие накопление остаточных деформаций расширения бетона;



Материал	Содержание оксидов, мас. %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	ППП
Клинкер	21,04	5,81	4,71	65,81	1,94	0,34	0,14
МК	92,5	0,75	2,3	1,8	3	–	1,4

– проверить влияние этих факторов на морозостойкость мелкозернистого бетона.

Испытания деформаций проводили на образцах песчаного бетона 1:3 при В/Ц=0,3.

Морозостойкость и остаточные деформации определяли на образцах мелкозернистого бетона с В/Ц=0,2–0,3 без воздухоовлечения.

Для изготовления образцов применяли портландцемент ПЦ 400 Д20 Коркинского цементного завода по ГОСТ 10178, природный гранодиоритовый щебень и кварцевый песок, удовлетворяющие требованиям соответствующих стандартов.

В качестве активной минеральной добавки использовали микрокремнезем Челябинского электрометаллургического комбината в соответствии с ТУ 5743-048-02495332–96 «Кремнезем конденсированный».

Химический состав клинкера портландцемента и микрокремнезема (МК) приведен в табл. 2.

В качестве пластифицирующей добавки использовали суперпластификатор СП-1.

Для испытаний деформаций исследуемых материалов использовали кварцевый дилатометр с погрешностью до 1%.

На рис. 1 приведены типичные дилатограммы бетонных образцов, сухого и водонасыщенного, замораживаемых на воздухе.

Сухой образец при охлаждении до -60°C сжимался, а при последующем нагревании расширялся по линейному закону в соответствии с коэффициентом термического расширения. Водонасыщенный образец сжимался по линейному закону до точки В, т. е. до переохлаждения воды ниже 0°C на 6°, после чего отмечался резкий всплеск деформаций расширения до точки С вследствие льдообразования в макрокапиллярах с выделением скрытой теплоты кристаллизации и повышением температуры до -1°C, затем отмечался плавный сброс деформаций расширения (участок CD на кривой 2) с дальнейшим выходом на линейный участок (до точки L). Начиная с точки L дальнейшее охлаждение сопровождается плавным нарастанием деформаций расширения в интервале температур -30 – -44°C вследствие

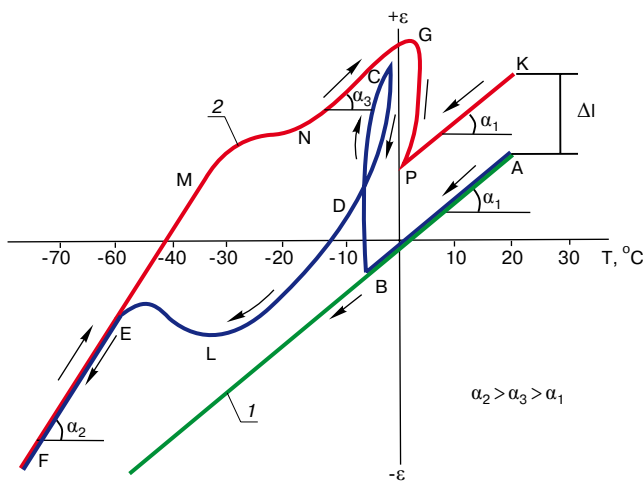
льдообразования в микрокапиллярах разных размеров. При -50°C в точке Е вновь начинается линейный участок деформирования бетона совместно с образовавшимся льдом, поэтому изменяется угол наклона этой прямой. При нагреве от -60 до -33°C линейный участок; MN – таяние льда в микрокапиллярах; GP – таяние льда в макрокапиллярах; КА – величина остаточных деформаций расширения, т. е. деструкция бетона за один цикл. Таким образом, деформации расширения фиксируются при образовании льда в капиллярных порах (участки BC и LE) и при нагреве на участке EMNG вследствие более высокого коэффициента температурного расширения бетона со льдом, чем без него. Это связано с тем, что коэффициент объемного термического расширения льда (около 150·10<sup>-6</sup> мм/(мм·град) примерно в три раза больше, чем у бетона.

В результате льдообразования в макрокапиллярах происходит упругое расширение бетона, достигающее в точке С максимума, затем оно резко снижается вследствие перемещения микрокапиллярной влаги в полости бетона. Причин, вызывающих появление таких микрополостей, может быть несколько:

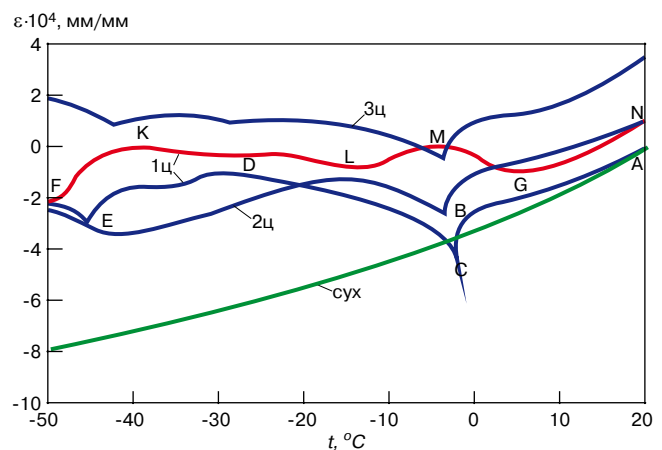
- недоуплотнение бетонной смеси при формировании – допускается по СНиП 3.09.01–85 «Производство сборных железобетонных конструкций и изделий» для смесей тяжелого бетона не более 2%, для мелкозернистых и жестких бетонных смесей не более 4%;
- контракция системы цемент – вода в процессе гидратации вследствие химического и адсорбционного связывания воды;
- адсорбционная контракция – уменьшение объема адсорбционной влаги при охлаждении.

Следовательно, для повышения морозостойкости бетона нужно:

- снижать капиллярную пористость бетона, которая при благоприятных условиях (отсутствие расслоения бетонной смеси, предотвращение испарения воды из твердеющего бетона, предотвращение трещинообразования вследствие температурных и влажностных градиентов, предотвращение или снижение усадочных деформаций) будет состоять из капиллярной



**Рис. 1.** Деформации сухого (1) и водонасыщенного (2) образцов мелкозернистого бетона при замораживании и оттаивании: +ε – относительные деформации расширения; -ε – относительные деформации сжатия



**Рис. 2.** Относительные деформации образца водонасыщенного бетона при замораживании и оттаивании в воде: кривые AF и FN (1ц) – первый цикл замораживания и оттаивания; 2ц – второй цикл; 3ц – третий цикл; сух – деформации сухого образца на воздухе

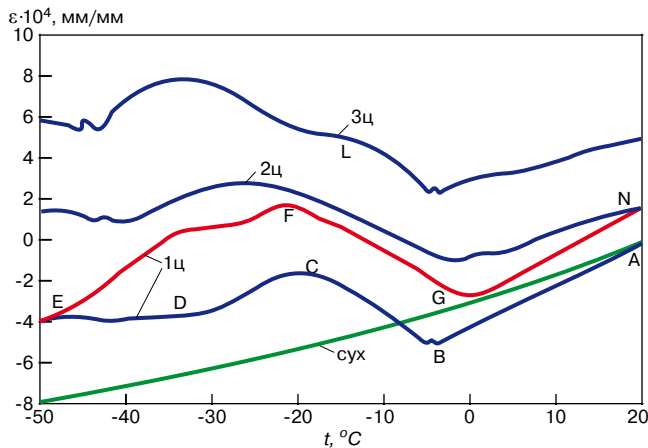


Рис. 3. Относительные деформации образца бетона, насыщенного и замораживаемого в 5% растворе хлорида натрия. Обозначения см. рис. 2

пористости цементного камня, зависящей от величины В/Ц и степени гидратации цемента;

- повышать степень гидратации цемента для снижения капиллярной пористости и увеличения объема контракционных пор;
- обеспечивать направленное структурообразование цементного камня таким образом, чтобы формировались стабильные гелеобразные гидросиликаты кальция, обеспечивающие высокую прочность, плотность камня и повышенное содержание адсорбционной влаги.

На рис. 2 приведены дилатограммы образцов мелкозернистого бетона, сухого, а также водонасыщенного и замораживаемого в кювете с водой.

На участке АВ происходит термическое сокращение образца в соответствии с коэффициентом термического расширения насыщенного водой бетона. При температуре  $-3^{\circ}\text{C}$  происходит аномальное сжатие образцов вследствие образования льда в кювете. На участке CD в интервале температур от  $-3$  до  $-28^{\circ}\text{C}$  образуется лед в макрокапиллярах, что, вероятно, вызвано повышением давления воды в них как из-за внешнего обжатия льдом, так и вследствие замерзания воды в самих порах. Здесь отсутствует падение давления, как при замораживании образцов на воздухе (рис. 1, участок CD). На участке DE от  $-30$  до  $-45^{\circ}\text{C}$  происходит снижение деформаций расширения вследствие более интенсивного сжатия льда в

порах бетона, чем самого бетона. EF – второй участок развития деформаций расширения за счет льдообразования в микрокапиллярах при  $-45 - -50^{\circ}\text{C}$ . Кривая нагревания FKLMGN идет значительно выше кривой замораживания и величина NA – остаточные деформации, к началу третьего цикла остаточные деформации увеличились в три раза с  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $3,4 \cdot 10^{-4}$  мм/мм, а кривая охлаждения почти полностью лежит в области деформаций расширения.

Таким образом, если при замораживании на воздухе водонасыщенных образцов бетона можно говорить об интенсивном снижении давления в макрокапиллярах вследствие отжатия воды в резервные полости, то при замораживании в воде этого не наблюдается и, вероятно, в этом случае воздухововлечение не является кардинальным способом повышения морозостойкости бетона. Можно предположить, что при образовании льда в кювете на поверхности бетона остается слой воды, который под давлением в результате льдообразования перемещается в открытые капилляры и через них в резервные полости. С понижением температуры давление увеличивается как вследствие замерзания части поверхностной воды, так и вследствие температурного сжатия ледяной обоймы вокруг испытываемого образца. В этом случае имеющиеся полости заполняются водой и перестают играть роль резервных объемов.

На рис. 3 приводятся деформации образца мелкозернистого бетона насыщенного и замороженного в 5% растворе хлорида натрия при циклическом замораживании и оттаивании.

Первое замораживание приводит к образованию небольшого количества льда в бетоне при  $-4^{\circ}\text{C}$ , затем следует образование льда при  $-5^{\circ}\text{C}$  в кювете и небольшие деформации обжатия образца. В температурном интервале от  $-7$  до  $-20^{\circ}\text{C}$  происходит замораживание льда в макрокапиллярах. Большая протяженность этого участка, вероятно, вызвана образованием пресного льда с увеличением концентрации соли в незамерзшем растворе, из которого вымерзает часть воды при более низкой температуре, и так до температуры криогидратной точки, при которой образуется лед и кристаллогидраты поваренной соли. С увеличением числа циклов этот участок расширяется при втором замораживании, он расположен в интервале от  $-3$  до  $-26^{\circ}\text{C}$ , при третьем – от  $-5$  до  $-33^{\circ}\text{C}$ . Вероятно, это связано с увеличением размеров микрокапилляров.

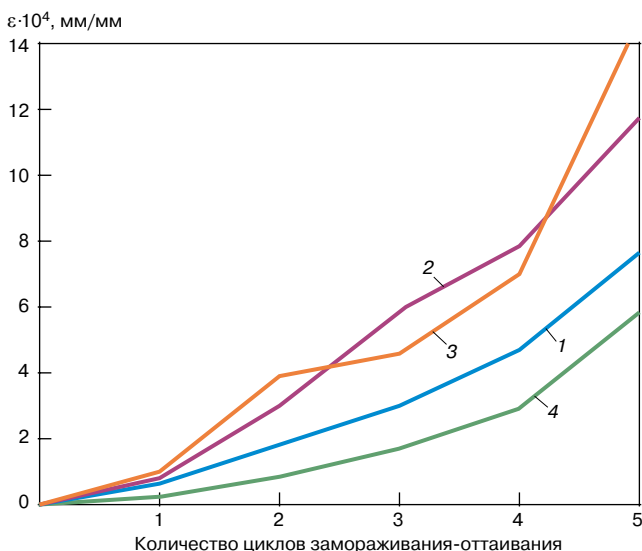


Рис. 4. Рост остаточных деформаций расширения образцов бетона при циклическом замораживании до  $-50^{\circ}\text{C}$  и оттаивании в различных средах: 1 – в воде; 2 – в 3% растворе хлорида натрия; 3 – в 5% растворе хлорида натрия; 4 – в 10% растворе хлорида натрия

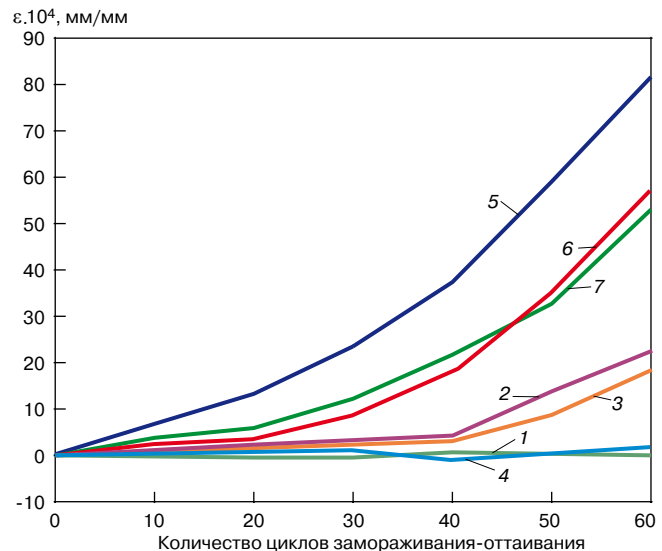


Рис. 5. Результаты накопления относительных остаточных деформаций удлинения при циклическом замораживании: 1 – В/В=0,2, 10% МК; 2 – В/В=0,25, без МК; 3 – В/В=0,25, 10% МК; 4 – В/В=0,25, 20% МК; 5 – В/В=0,3, без МК; 6 – В/В=0,3, 10% МК; 7 – В/В=0,3, 20% МК

**Таблица 3**

В/В	МК/Ц, %	Прочность при сжатии, МПа, после следующего количества циклов						
		0	10	20	30	40	50	60
0,2	10	84	81	85	80	83	84	90
0,25	0	68	68	67	66	67	60	52
	10	67	66	68	66	67	64	66
	20	78	74	75	75	77	78	82
0,3	0	57	53	46	39	32	27	26
	10	62	63	64	61	62	62	60
	20	62	63	64	59	56	47	38

**Таблица 4**

В/В	МК/Ц, %	Прочность при изгибе, МПа, после следующего количества циклов						
		0	10	20	30	40	50	60
0,2	10	9,3	9,5	11	10,3	10,2	9,8	9,4
0,25	0	7,2	5,7	5,6	4,8	3,8	2,5	2,7
	10	8,2	8,3	8,4	7,6	7,3	4,4	4,2
	20	8,8	9,2	9,1	8,5	8,3	8,4	8,8
0,3	0	5,8	3,6	2,5	1,8	1,7	1,3	1,1
	10	7,2	8,2	6,3	3,8	2,4	1,3	1
	20	9	8,2	6,2	4,4	2,6	1,6	1,4

На участке CD происходит сокращение размеров льда в порах бетона за счет большей величины коэффициента температурного сжатия льда. На участке DE формируется лед в микрокапиллярах. При нагреве от -50 до -20°C проходят интенсивные деформации расширения образца бетона, затем идет участок таяния льда в микро- и макрокапиллярах. Остаточные относительные деформации расширения после первого цикла составляют  $1,6 \cdot 10^{-4}$  мм/мм, после второго цикла –  $4,8 \cdot 10^{-4}$  мм/мм.

По накоплению остаточных деформаций расширения образцов бетона в процессе циклического замораживания и оттаивания можно судить об интенсивности деструкции при испытании в различных условиях. На рис. 4 приводятся результаты сравнительных испытаний накопления деформаций расширения после первых пяти циклов образцов мелкозернистого бетона при замораживании до -50°C и оттаивании в соответствующей жидкой среде при +20°C.

Из полученных результатов испытаний следует, что при замораживании и оттаивании образцов в воде после первого цикла появляются и растут равномерно до третьего цикла включительно остаточные деформации расширения. Затем скорость деструкций увеличивается после четвертого и пятого циклов, суммарные деформации расширения после пяти циклов составили  $7,8 \cdot 10^{-4}$  мм/мм. В растворах 3% и 5% хлорида натрия отмечается прогрессирующая скорость разрушения образцов уже после первого цикла, а после пятого цикла относительные деформации расширения составили соответственно  $11,8 \cdot 10^{-4}$  и  $14,7 \cdot 10^{-4}$  мм/мм. Циклическое замораживание в 10% растворе хлорида натрия оказывается менее деструктивным, чем в воде: после пятого цикла деформации расширения составили  $6 \cdot 10^{-4}$  мм/мм. Скорость деструкции может быть показателем ускоренной оценки морозостойкости бетона.

Для испытания морозостойкости образцов мелкозернистого бетона были изготовлены образцы-балочки 4×4×16 см с составом Ц:П = 1:3 с использованием следующих предпосылок:

– при В/Ц менее 0,35 лед в цементном камне не образуется после первого замораживания, однако с увеличением числа циклов появляются деформации

расширения при замораживании, соответствующие льдообразованию в макрокапиллярах;

- в процессе циклического замораживания происходит коррозия первого вида, связанная с выносом гидроксида кальция из цементного камня и со старением цементного геля;
- для стабилизации структуры цементного камня и повышения его стойкости к коррозии первого вида необходимо введение активных минеральных добавок. Микрокремнезем – эффективная пуццолановая добавка, но он повышает водопотребность бетонной смеси, поэтому необходимо введение дополнительно водоредуцирующей добавки.

При изготовлении образцов мелкозернистого бетона без воздухововлечения изменяли В/В отношение в пределах 0,2–0,3 и дозировку микрокремнезема от 0 до 20% от цемента. В/В отношение определялось как отношение массы воды затворения к суммарной массе цемента и микрокремнезема, дозировка суперпластификатора обеспечивала постоянную удобоукладываемость бетонной смеси.

Образцы-балочки после изготовления и твердения в течение 25 сут при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажности воздуха не менее 90% на 3 сут погружали в 5% водный раствор поваренной соли, после чего испытывали контрольные образцы, а остальные подвергали циклическому замораживанию в кюветах с 5% раствором хлорида натрия до -50°C и оттаиванию до +20°C. Средние результаты испытания прочности образцов при сжатии по шести половинкам балочек и при изгибе по трем балочкам (внутрисерийный коэффициент вариации прочности не превышал 14,7%) после различного числа циклов приведены в табл. 3, 4.

По результатам определения прочности при сжатии выдержали испытание:

- образцы с В/В=0,2 + 10%МК; с В/В=0,25 с 10 и 20% МК – 60 циклов;
- образцы с В/В=0,3 + 10%МК – 50 циклов;
- образцы с В/В=0,25 без МК – 40 циклов;
- образцы с В/В=0,3 + 20%МК – 20 циклов.

По результатам определения прочности при изгибе выдержали испытание:

- образцы с  $V/V=0,2 + 10\% \text{МК}$ ; с  $V/V=0,25 + 20\% \text{МК}$  – 60 циклов;
- образцы с  $V/V=0,25 + 10\% \text{МК}$  – 20 циклов;
- образцы с  $V/V=0,3 + 10\% \text{МК}$  – 10 циклов.

Измерялись также накопления остаточных деформаций расширения образцов в процессе циклического замораживания. Результаты этих измерений представлены на рис. 5.

Наиболее стойкими оказались образцы с  $V/V=0,2, 10\% \text{МК}$  (1) и с  $V/V=0,25, 20\% \text{МК}$  (4). Они после 60 циклов не имели остаточных деформаций удлинения.

Из полученных результатов следует:

1. Снижение  $V/V$  и увеличение добавки микрокремнезема способствует увеличению прочности бетона при сжатии и изгибе, особенно интенсивно увеличивается прочность при изгибе при постоянной величине водовяжущего отношения.
2. Замена части цемента на микрокремнезем вызывает рост отношения  $R_{изг}/R_{сж}$  при любых значениях  $V/V$ , что способствует повышению трещиностойкости бетона.
3. Снижение  $V/V$  и увеличение дозировки микрокремнезема повышает морозостойкость мелкозернистого бетона.

Полученные в результате проведенных исследований результаты позволяют сделать следующие выводы:

– испытания водонасыщенных образцов мелкозернистого бетона показывают, что существуют три основные причины деструкции бетона: при замораживании на воздухе возникают деформации расширения при льдообразовании в макро- и микрокапиллярах; при оттаивании в воде расширение вызвано увеличением объема образца из-за высокого коэффициента температурного расширения льда;

– образование льда в макрокапиллярах при замораживании на воздухе сопровождается быстрым нарастанием деформаций расширения, которые затем плавно снижаются, возможно, вследствие отжатия воды в резервные полости. Такая картина не наблюдается при замораживании образцов в воде или растворе хлорида натрия. В этом случае при снижении температуры среды деформации расширения наблюдаются в достаточно большом интервале отрицательных температур;

– для снижения деструкции вследствие замораживания и оттаивания бетона необходимо стремиться к созданию таких бетонов, в которых не происходит накопления остаточных деформаций расширения после оттаивания образцов.

Поэтому для обеспечения высокой морозостойкости дорожного бетона без воздухововлечения необходимы:

– низкие исходные значения  $V/C$ , обеспечивающие снижение капиллярной пористости и водонасыщения;

– введение активных минеральных добавок, способствующих формированию стойких низкоосновных гидросиликатов кальция гелеобразной структуры.

#### Список литературы / References

1. Nili M., Ehsani A., Shabani K. Influence of nano-SiO<sub>2</sub> and micro-silica on concrete performance. *Proceeding Second International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*. June 28–30 (2010). Universita Ploitecnica delle marches, Ancona, Italy, 2010, pp. 1–5. (In Russian).
2. Palecki S. Influence of ageing on the Frost salt resistance of High Performance Concrete. *International Conference on Building Materials, 18-th ibausil*. 2012, pp. 2–61. (In Russian).

# Есть Такая Система



Группа компаний  
«Единая Торговая Система»

20 ЛЕТ  
НА РЫНКЕ  
СПЕЦИАЛЬНОГО  
ХИМИЧЕСКОГО  
СЫРЬЯ

WWW.UTSRUS.COM

Реклама

Л.А. УРХАНОВА<sup>1</sup>, д-р техн. наук (urkhanova@mail.ru), С.А. ЛХАСАРАНОВ<sup>1</sup>, инженер,  
С.П. БАРДАХАНОВ<sup>2</sup>, д-р физ.-мат. наук

<sup>1</sup> Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40 В, стр. 1)

<sup>2</sup> Институт теоретической и прикладной механики СО РАН (630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1)

## Модифицированный бетон с нанодисперсными добавками

Рассмотрены вопросы применения в технологии вяжущих веществ и бетона нанодисперсного кремнезема (НК), полученного на ускорителе электронов. Приведен сравнительный анализ эффективности использования НК в цементе с промышленно выпускаемым пирогенным НК HDK H20 Wacker. Методом кондуктометрии определены показатели удельной электропроводности и pH воды с добавками Таркосил-05 и Таркосил-20. С помощью методов РФА и ЭМА показано изменение фазового состава и микроструктуры цементного камня, модифицированного НК. Получены составы бетонов с НК с улучшенными физико-механическими и строительно-эксплуатационными характеристиками.

**Ключевые слова:** модифицированный бетон, нанокремнезем, микроструктура, гидратация.

L.A. URKHANOVA<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (urkhanova@mail.ru), S.A. LKHASARANOV<sup>1</sup>, engineer,

S.P. BARDAKHANOV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics)

<sup>1</sup> East Siberia State University of Technology and Management (40 B, structure 1, Klyuchevskaya Street, 670013, Ulan-Ude, Russian Federation)

<sup>2</sup> Institute of Theoretical and Applied Mechanics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (4/1, Institutskaya Street, 630090, Novosibirsk, Russian Federation)

### Modified Concrete with Nano-Disperse Additives

Issues of the use of nano-disperse silica (NS) obtained at the electron accelerator in the technology of binders and concrete are considered. The comparative analysis of efficiency of using NS in cement with the industrially produced pyrogenic NS "HDK H20 Wacker" is presented. Indexes of specific electric conductivity and pH of water with additives Tarkosil-05 and Tarkosil-20 are determined by the method of conductometry. The change in the phase composition and microstructure of cement stone is shown with the help of RFA and EMA methods. Concrete compositions with NS with improved physical-mechanical and construction-operational characteristics are produced.

**Keywords:** modified concrete, nano-silica, microstructure, hydration.

В последние годы ученые разных стран ведут исследования в области получения и применения ультрадисперсных материалов [1–5]. Поведение наночастиц и механизм их действия на такие комплексные материалы, как цемент, должны быть подробно изучены, чтобы в полной мере использовать эффект от их введения в состав вяжущих веществ и бетонов.

В Институтах ядерной физики, теоретической и прикладной механики СО РАН (г. Новосибирск) путем испарения и конденсации вещества релятивистским пучком электронов получен нанодисперсный кремнезем (НК) – Таркосил (Патент РФ № 2067077. Способ получения ультрадисперсной двуокиси кремния, устройство для его осуществления и ультрадисперсная двуокись кремния / Лукашов В.П., Бардаханов С.П., Салимов Р.А., Корчагин А.И., Фадеев С.Н., Лаврухин А.В. // Опубл. 27.09.1996. Бюл. № 27; Бардаханов С.П., Корчагин А.И., Куксанов Н.К., Лаврухин А.В., Салимов Р.А., Фадеев С.Н., Черепков В.В. Получение нанопорошков испарением исходных веществ на ускорителе электронов при атмосферном давлении // Доклады Академии наук, 2006. Т. 409. № 3. С. 320–323). Данный метод получения НК имеет ряд преимуществ: высокая химическая чистота, высокая удельная поверхность, возможность получения нанопорошка в достаточно большом объеме по сравнению с другими методами.

НК был опробован в технологии лакокрасочных материалов [6], применение которого позволило улучшить сцепление покрытия с металлической поверхностью.

С учетом современных тенденций в технологии модифицирования бетона интерес представляло получение высокопрочного бетона с применением НК [7].

В проводимых исследованиях для получения высокопрочного бетона использованы портландцемент ЦЕМ I 32,5Н ООО «Тимлюйский цементный завод», кварц-полевошпатовый песок (содержание кварца 65,6 мас. %, полевых шпатов – 27,4 мас. %) с модулем крупности  $M_{кр} = 2,1$ , гранитные отсеивы ОАО «Горняк» (Республика Бурятия) фракции 2,5–5 мм, нанодисперсные добавки Таркосил-05 и Таркосил-20.

В развитие проводимых ранее исследований [7] выполнен сравнительный анализ эффективности использования НК Таркосил-05, Таркосил-20 с промышленно выпускаемым нанокремнеземом HDK H20 («Wacker»). Характеристики модифицирующих добавок представлены в табл. 1.

Пирогенный НК HDK («Wacker») получен в результате сжигания тетраоксида кремния ( $SiCl_4$ ) в водородно-кислородном пламени. Содержание аморфного кремнезема в нем составляет 99,8% (HDK® H20 Pyrogenic Silica URL: <http://www.wacker.com/cms/en/products-markets/product.jsp>).

За счет изменения технологических параметров процесса по способу, изложенному в Патенте РФ № 2067077 и статье С.П. Бардаханова и др., имеется возможность получения НК Таркосил с различным характером поверхности. Таркосил-20 обладает гидрофильными свойствами; на поверхности частиц концентрация ОН-группы – 2–3 ОН-группы на квадратный нанометр поверхности. Таркосил-05 – условно гидрофобный, концентрация ОН-группы – 0,4–0,5 ОН-группы на 1 нм<sup>2</sup> поверхности.

Авторы предположили, что, используя НК с различной природой поверхности, можно целенаправленно регулировать свойства вяжущих веществ и бетонов.

В частности, введение НК в воду затворения приводит к изменению характеристик активированной воды, определенных на кондуктометре-иономере АНИОН 4155 (рис. 1). Повышение удельной электропроводности и снижение водородного показателя ак-

**Таблица 1**

Показатель	Таркосил-05	Таркосил-20	HDK H20 («Wacker»)
Средний размер частиц, нм	53	20	25
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	50,6	139	150

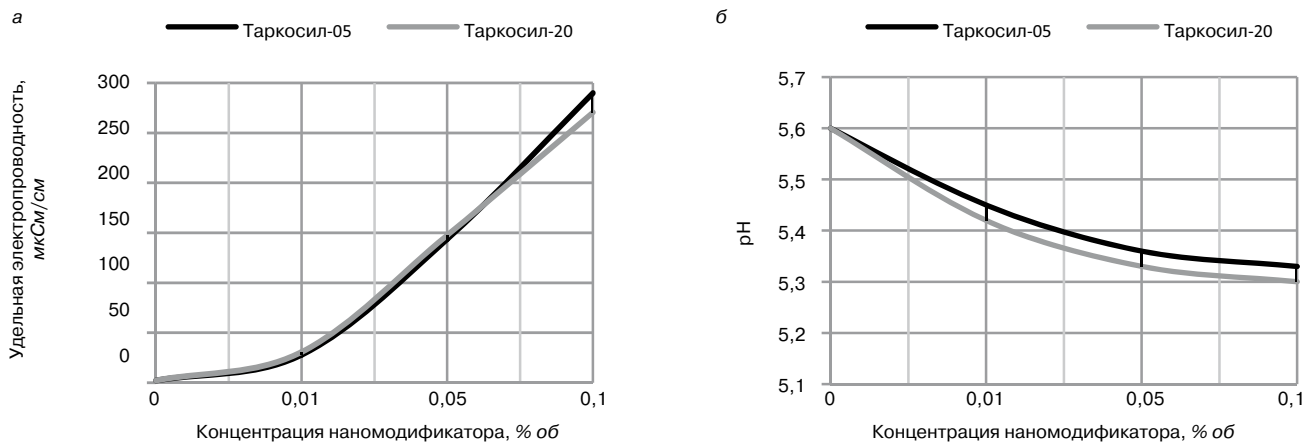


Рис. 1. Зависимость удельной электропроводности (а) и pH (б) от концентрации нанодispersных добавок Таркосил-05 и Таркосил-20

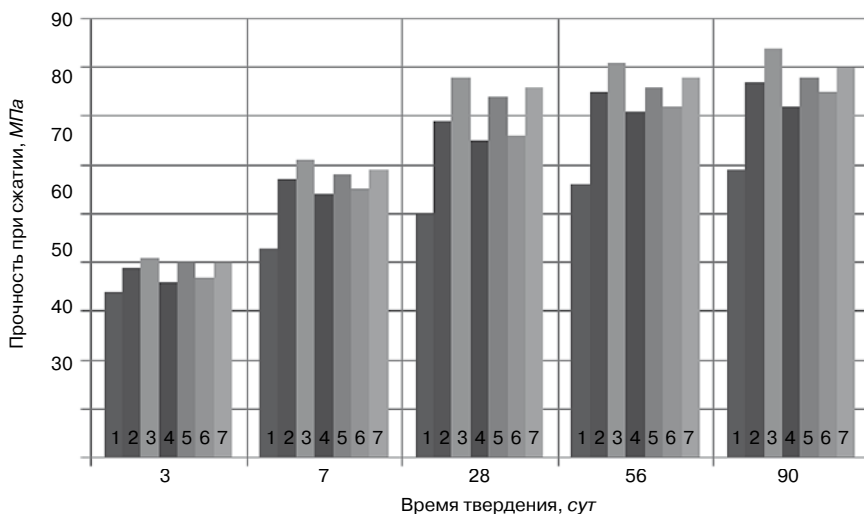


Рис. 2. Кинетика набора прочности цементного камня, модифицированного нанодобавками: 1 – контрольный; 2 – Таркосил-05 (0,1%); 3 – Таркосил-05 (1%); 4 – Wacker (0,1%); 5 – Wacker (1%); 6 – Таркосил-20 (0,1%); 7 – Таркосил-20 (1%)

тивированной воды с НК свидетельствуют о взаимодействии молекул воды с наночастицами, что приводит к образованию в водной среде новой структуры, при этом пространственная водородная сетка и ее устойчивость не разрушаются [3]. Водородный показатель активированной воды изменяется в пределах 5,3–5,6. Для Таркосил-05, имеющего на поверхности малую концентрацию гидроксильных ионов, характерно образование более кислой среды. Удельная

электропроводность воды с нанодispersными добавками при увеличении концентрации добавок растет и при концентрации 0,1% имеет показатели 289 и 270 мкСм/см для Таркосил-05 и Таркосил-20 соответственно.

Различный характер поверхности НК, возможно, является причиной различного распределения их частиц в объеме воды. Диспергация в воде затворения частиц Таркосил-05 происходит более эффективно по сравнению с Таркосил-20, хотя средний размер частиц Таркосил-20 меньше, чем у Таркосил-05. Характер поверхности НК обуславливает образование вокруг частиц гидратной пленки. Толщина гидратной пленки Таркосил-05 меньше, чем у Таркосил-20, что положительным образом сказывается на их распределении в объеме воды затворения. Это

приводит к получению высоких физико-механических характеристик ПЦ с добавлением Таркосил-05 по сравнению с Таркосил-20.

Введение Таркосил (рис. 2) привело к повышению прочности цементного камня на 5–10% по сравнению с пирогенным НК HDK H20. На наш взгляд наличие в составе Таркосил примесей Al в нанодispersном состоянии способствует образованию в ранний период гидратации большего количества гидросульфалоуми-

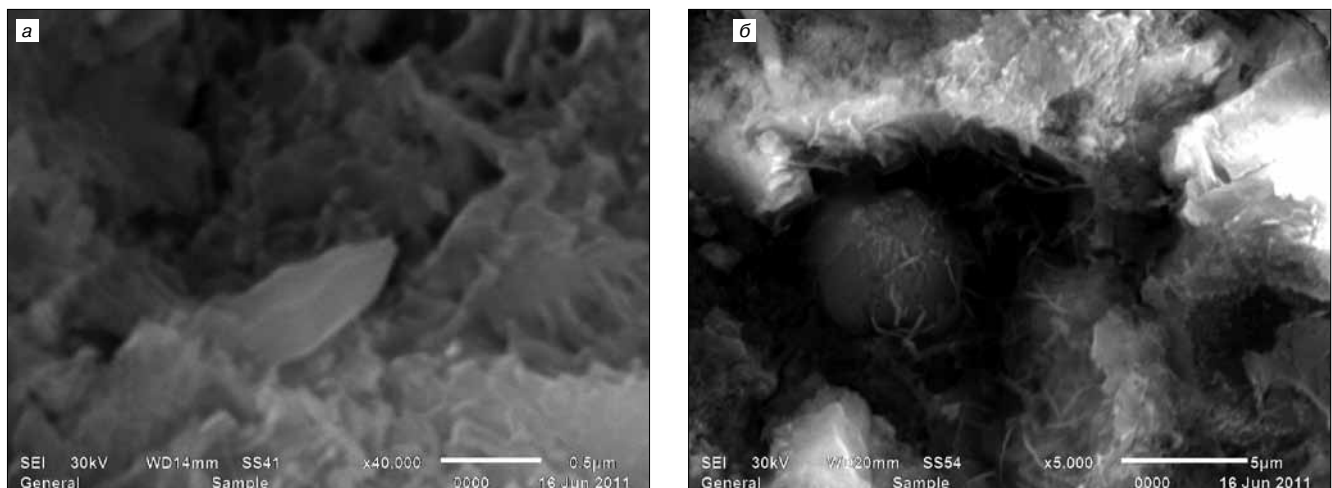


Рис. 3. Микроструктура после 28 сут твердения: а – ПЦ; б – ПЦ с добавкой Таркосил-05

**Таблица 2**

Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг						В/Ц	Показатели технологичности бетонной смеси		Прочность при сжатии, МПа		Водопоглощение, мас. %	Морозостойкость, циклы	
Таркосил-05	Таркосил-20	Вязующее	Песок	Гранит. отсева, фр.=2,5-5 мм	Щебень фр. 5-20 мм		Марка по удобоукладываемости	Расслаиваемость по водоотделению, %					3 сут
									-	-			550
0,55	-	56	79	1,3									
-	0,55	47	68		1,6								
-	-	550	687	687		-	0,44	П3	0,7	23	37	6,1	150
0,55	-				47					66	1,4		
-	0,55				39					57			
-	-	490	560	-	1155	0,41	П1	0,3	15	44	5,5	150	
0,49	-								22	53			4
-	0,49								21	51			

натов кальция, которые выступают в качестве армирующего компонента и участвуют в раннем наборе прочности цементного камня. Увеличение концентрации добавок до 1% от массы вяжущего хотя и приводит к увеличению прочности, является экономически необоснованным.

Высокая удельная поверхность НК позволяет его частицам заполнять микропоры цементного камня и создавать за счет этого плотную и прочную микроструктуру. НК активно влияет на гидратацию ПЦ: его присутствие изменяет концентрацию ионов Са<sup>2+</sup> и ОН<sup>-</sup> в жидкой фазе цементной пасты уже в первые минуты гидратации. Образование продуктов гидратации в ранний период происходит при участии поверхности нанодисперсных частиц, и поверхность цементных зерен оказывается в меньшей степени блокирована новообразованиями, что интенсифицирует процесс гидролиза цементных фаз. Известно, что введение микроколичества вещества, как имеющего сродство с синтезируемыми фазами, так и не обладающего таковым, влияет на скорость кристаллизации, морфологию минеральных индивидов и агрегатов [8]. НК, находящийся в дисперсном состоянии в активно гидратируемой среде, конденсируется на ребрах, вершинах и сколах кристаллов исходных клинкерных минералов и образует дополнительные центры кристаллизации, вокруг которых группируются новообразованные кристаллы в виде друз.

Результатами РФА подтверждается, что для цементного камня контрольного состава в возрасте 3 и 28 сут характерна величина суммарной интенсивности отражения портландита, превышающая значение для цементного камня, модифицированного НК на 30 и 15% соответственно. При этом суммарная интенсивность дифракционных максимумов алита в цементном камне с содержанием наномодификатора через 3 и 28 сут твердения снижается на 8 и 5%; белита – на 8 и 29% соответственно, что свидетельствует об ускоренном процессе гидратации данных цементных фаз.

На рис. 3 показано изменение структуры при введении НК. В исходном цементном камне после 28 сут твердения наблюдается меньшее количество коагулированного геля, игольчатых кристаллов и гексагональных

пластинок гидросиликатов кальция, а также гидросульфатоалюминатов кальция (ГСАК) на поверхности негидратированных цементных зерен.

Введение добавок Таркосил-05 и Таркосил-20 в состав тяжелого бетона привело к увеличению прочности на 67–100% в возрасте 3 сут, а в 28 сут – на 54–79% (табл. 2). При этом прочностные характеристики бетонов с добавкой Таркосил-05 выше, чем у бетонов с добавкой Таркосил-20, в среднем на 10–15%.

Бетоны с применением НК характеризуются высокими гидрофизическими и эксплуатационными показателями, что является подтверждением создания плотной структуры материала при его введении и упрочняющего эффекта действия НК.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Данные рентгенофазового и электронно-микроскопического анализа цементного камня доказывают упрочняющий эффект от введения НК, заключающийся в уменьшении микропор цементного камня, ускорении процессов гидратации, создании дополнительных центров кристаллизации, вокруг которых кристаллизуются гидратные новообразования.

Введение НК изменяет удельную электропроводность и водородный показатель воды, что свидетельствует об ориентационном взаимодействии молекул воды с наночастицами, переводящим систему в активированное состояние.

Диспергация в воде затвердения частиц Таркосил-05 происходит более эффективно по сравнению с Таркосил-20. Характер поверхности НК обуславливает образование вокруг частиц гидратной пленки. Толщина гидратной пленки Таркосил-05 меньше, чем у Таркосил-20, что положительным образом сказывается на их распределении в объеме воды затвердения. Это способствует получению высоких физико-механических характеристик ПЦ и ВНВ с добавлением Таркосил-05 по сравнению с Таркосил-20.

Получены составы модифицированных бетонов с нанодисперсными добавками Таркосил-05 и Таркосил-20, характеризующиеся повышенной прочностью по сравнению с контрольным составом и улучшенными гидрофизическими и эксплуатационными характеристиками.

Список литературы

1. Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С. Концепции и основания технологий наномодифицирования структур строительных композитов. Ч. 2. К проблеме концептуальных моделей наномодифицирования структуры // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 73–83.
2. Баженов Ю.М., Лукутцова Н.П., Матвеева Е.Г. Исследования влияния наномодифицирующей добавки на прочностные и структурные параметры мелкозернистого бетона // *Вестник МГСУ*. 2010. № 2. С. 215–218.
3. Пухаренко Ю.В., Аубакирова И.У., Никитин В.А., Летенко Д.Г., Староверов В.Д. Модифицирование цементных композитов смешанным наноуглеродным материалом фуллероидного типа // *Технологии бетонов*. 2013. № 12 (89). С. 13–15.
4. Bhuvaneshwari B., Saptarshi Sasmal, Baskaran T., Iyer Nagesh R. Role of Nano Oxides for Improving Cementitious Building Materials // *Journal of Civil Engineering and Science*. 2012. Vol. 1, Issue 2, pp. 52–58.
5. Quercia G., Hüsken G., Brouwers H.J.H. Water demand of amorphous nano silica and its impact on the workability of cement paste // *Cement and Concrete Research*. 2012. Vol. 42. Pp. 344–357.
6. Номоев А.В., Лыгденов В.Ц. Влияние нанопорошка диоксида кремния на износостойкость лакокрасочного покрытия // *Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал*. 2010. № 3. С. 19–24. [http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild\\_3\\_2010.pdf](http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_3_2010.pdf) (дата обращения 22.07.2014).
7. Урханова Л.А., Бардаханов С.П., Лхасаранов С.А. Бетон повышенной прочности на композиционном вяжущем // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 23–25.
8. Павленко Н.В., Бухало А.Б., Строкова В.В., Нелюбова В.В., Сумин А.В. Модифицированное вяжущее с использованием нанокристаллических компонентов для ячеистых композитов // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 20–25.

References

1. Chernyshev E.M., Artamonova O.V., Slavcheva G.S. Conceptions and bases of nano-modification technologies of building composites structures. Part 2: On the problem of conceptual models of nano-modifying the structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials] 2014. № 4, pp. 73–83. (In Russian).
2. Bazhenov Yu.M., Lukutsova N.P., Matveeva E.G. Research of influence of nanomodified additives on the strength and structural parameters of fine grained concrete. *Vestnik MGSU*. 2010. № 2, pp. 215–218. (In Russian).
3. Pukhareno Yu.V., Aubakirova I.U., Nikitin V.A., Letenko D.G., Staroverov V.D. Modification of cement composites by mixed nanocarbon materials of the fulleroid type. *Tekhnologii betonov*. 2013. № 12 (89), pp. 13–15. (In Russian).
4. Bhuvaneshwari B., Saptarshi Sasmal, Baskaran T., Iyer Nagesh R. Role of Nano Oxides for Improving Cementitious Building Materials. *Journal of Civil Engineering and Science*. 2012. Vol. 1. Issue 2, pp. 52–58.
5. Quercia G., Hüsken G., Brouwers H.J.H. Water demand of amorphous nano silica and its impact on the workability of cement paste. *Cement and Concrete Research*. 2012. Vol. 42, pp. 344–357.
6. Nomoyev A.V., Lygdenov V. Ts. Influence of nanopowder of dioxide of silicon on wear resistance of a paint and varnish covering. *Nanotekhnologii v stroitel'stve: scientific Internet-journal*. 2010. No. 3, pp. 19–24. [http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild\\_3\\_2010.pdf](http://www.nanobuild.ru/magazine/nb/Nanobuild_3_2010.pdf) (date of the address 22.07.2014).
7. Urkhanova L.A. Bardakhanov S.P., Lkhasaranov S.A. Beton of the increased durability on composite knitting. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials] 2011. № 4, pp. 23–25. (In Russian).
8. Pavlenko N.V., Bukhalo A.B., Strokova V.V., Nelyubova V.V., Sumin A.V. Nanocrystalline components based modified binder for cellular composites. *Stroitel'nye materialy* [Construction materials] 2013. № 2, pp. 20–25. (In Russian).



Союз  
Производителей  
Извести

СТРОИТЕЛЬНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ

ПРИГЛАШАЮТ ПРИНЯТЬ УЧАСТИЕ  
В МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

## «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗВЕСТИ»

8-9 октября 2014 г.

Москва

### Тематика конференции

- Рынок извести в современных условиях
- Технологии подготовки сырья и энергоносителей
- Печи отечественных и зарубежных компаний
- Вопросы экологии. Эффективная пыле- и газоочистка и утилизация отработанных газов
- Техническое перевооружение предприятий производства извести
- Альтернативные виды топлива и системы их подачи. Преимущества и недостатки
- Транспортные системы

### ОРГКОМИТЕТ

Союз производителей извести  
Тел./факс: (473) 239-84-95  
e-mail: SPI-2006@yandex.ru  
www.soyuzizvesti.ru

Журнал «Строительные материалы»®  
Тел./факс: (499) 976-22-08, 976-20-36  
e-mail: izvest@bk.ru, mail@rifsm.ru  
www.rifsm.ru



В.Н. МОРГУН<sup>1</sup>, канд. техн. наук (morgun\_vlad@bk.ru); П.Н. КУРОЧКА<sup>2</sup>, д-р техн. наук, А.Ю. БОГАТИНА<sup>2</sup>, канд. техн. наук; Л.В. МОРГУН<sup>3</sup>, д-р. техн. наук, Е.Э. КАДОМЦЕВА<sup>3</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Академия архитектуры и искусств Южного федерального университета (344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 105/42)

<sup>2</sup> Ростовский государственный университет путей сообщения (344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2)

<sup>3</sup> Ростовский государственный строительный университет (344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162)

## Вопросы сцепления стержневой арматуры с бетоном и фибробетоном

Анализ требований к свойствам современных железобетонных конструкций, эксплуатируемых под воздействием знакопеременных и динамических нагрузок, показал, что системным недостатком, предопределяющим их ограниченную эксплуатационную надежность, является низкая прочность бетонов при растяжении. Самым современным приемом снижения негативных последствий этого недостатка является дисперсное армирование бетонов волокнами. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния дисперсного армирования синтетическими волокнами на прочность сцепления стержневой металлической и стеклопластиковой арматуры с бетоном и фибробетоном. Несмотря на то что при введении в состав бетона слитной структуры синтетических волокон имеет место снижение его прочности на сжатие, сцепление между стержневой арматурой и фибробетоном увеличивается. Установленный результат позволяет прогнозировать повышение энергоемкости разрушения строительных изделий, изготовленных из фибробетонов, армированных стержневой арматурой.

**Ключевые слова:** бетон слитной структуры, фибробетон, прочность сцепления, металлическая стержневая арматура, стеклопластиковая стержневая арматура.

V.N. MORGUN<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (morgun\_vlad@bk.ru); P.N. KUROCHKA<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), A.Yu. BOGATINA<sup>2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering); L.V. MORGUN<sup>3</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), E.E. KADOMTSEVA<sup>3</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)  
<sup>1</sup> Academy of Architecture and Arts of the Southern Federal University (105/42, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation)  
<sup>2</sup> Rostov State Transport University (2, Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Square, Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation)  
<sup>3</sup> Rostov State University of Civil Engineering (162, Sotcialisticheskaya Street, Rostov-on-Don, 344022, Russian Federation)

### Issues of Bar Reinforcement Bond with Concrete and Fiber Concrete

An analysis of requirements to properties of modern reinforced concrete structures operating under the influence of reversal and dynamic loads shows that low tensile strength of concretes is a system shortcoming which predetermines their limited operating reliability. The most modern method of reducing negative sequences of this shortcoming is dispersal reinforcement of concretes with fibers. Results of the experimental studies of the influence of dispersal reinforcement with synthetic fibers on the bond strength of bar metal and glass-plastic armature with concrete and fiber concrete are presented. It is shown that in spite of the fact the incorporation of conglomerate structure of synthetic fibers into the concrete composition leads to reducing its compression strength the bond between bar reinforcement and fiber concrete increases. This result makes it possible to predict the increase in energy consumption for destruction of building products made of fiber concrete reinforced with bar reinforcement.

**Keywords:** concrete of conglomerate structure, fiber concrete, bond strength, metal bar reinforcement, glass plastic bar reinforcement.

Россия в настоящее время наиболее строящаяся страна в мире с огромными территориями и потребностью в эффективных строительных изделиях гражданского, транспортного и промышленного назначения. XX и XXI вв. характеризуются лавинообразным развитием различных видов транспорта — автомобильного, железнодорожного и авиационного. Интенсивность транспортных воздействий на грунты и строительные конструкции сооружений обозначила перед строителями проблему повышения их прочности и устойчивости к действию вибрационных и ударных нагрузок.

Бетон массово используется в самых разнообразных строительных конструкциях, как традиционных для этого материала (фундаментных блоках, железнодорожных шпалах, плитах перекрытий, сваях и т. д.), так и в новых областях применения (трубах, тонкостенных оболочках, мостовых пролетных строениях и т. п.). Ужесточение условий эксплуатации предопределяет повышение требований к бетонам. Для большинства современных строительных конструкций недостаточно достигать нормируемого уровня прочности при сжатии, не менее важны с точки зрения эксплуатационной надежности прочность на растяжение и изгиб, ударная вязкость, работа разрушения материала.

Для обеспечения перечисленных свойств со второй половины XX в. бетоны дисперсно армируют различными видами волокон [1, 2], т. е. строительный комплекс при необходимости переходит от бетонов к фибробетонам. Принципиальное отличие фибробетона от бетона состоит в том, что при введении волокон в структуру минерального композиционного материала, состоящего из дисперсных частиц зернистой формы, получаемый камень обладает большей прочностью при растяжении. Причиной такого улучшения свойств, обеспечивающего комплексное повышение энергоемкости разрушения [3, 4], является тот факт, что в работу сопротивления приложенной нагрузке включается гораздо больший объем по сравнению с тем, который препятствует развитию трещин в материалах, состоящих из сырьевой только зернистой формы.

Для получения фибробетонов, прочность которых при сжатии не уступала бы бетонам без дисперсной арматуры, применяют волокна с модулем упругости существенно большим, чем у бетона [1]. Практика показывает, что соблюдение такого соотношения не всегда оправданно [3, 4]. При проектировании и изготовлении строительных конструкций, подвергающихся вибрационным и ударным нагрузкам, следует учитывать, что



**Рис. 1.** Характер разрушения при сжатии бетона, дисперсно-армированного полиамидными волокнами длиной 12 мм в количестве 0,5% от массы цемента

прочность при сжатии – важный и удобный показатель эксплуатационных свойств материалов. Однако разрушение подрельсовых конструкций начинается только там, где превышена местная прочность материала при растяжении. В железобетонных конструкциях транспортного назначения разрушение начинается с нарушения сцепления между арматурными каркасами и бетоном, обеспечивающим его коррозионную защиту.

Анализ долговечности эксплуатации железобетонных шпал, автодорожных покрытий и фундаментов опор контактной сети, эксплуатируемых в РФ, Центральной Европе и Северной Америке [5], показывает, что развитие технологии железобетона обеспечило рост ее продолжительности, от 1–3 лет в 30-е гг. XX в. до 5–11 лет к 90-м гг., т. е. в 4–5 раз. Тем не менее фотографии, визуально отражающие особенности разрушения железобетонных конструкций, показывают, что важнейшей причиной появления и развития трещин в бетоне транспортного назначения [6] является его недостаточная прочность при растяжении.

Развитие технологий производства материалов в XX в. предложило строительному комплексу обширную номенклатуру синтетических, минеральных и металлических волокон, пригодных для повышения прочности бетонов при растяжении [1–4]. Исследования в области достижения указанного свойства показывают, что важнейшими кроме рецептуры являются процессы массопереноса, протекающие в сырьевых смесях в период гомогенизации компонентов и начального структурообразования [4, 7–9]. Введение волокон в состав бетонных смесей предопределяет формирование направленного массопереноса мельчайших дисперсных частиц смеси (минерального вяжущего) к поверхности протяженного раздела фаз – дисперсной арматуре [4, 8]. Этот процесс наиболее интенсивно протекает в период существования вязких связей между дисперсными компонентами смесей. Он обеспечивает снижение меры дефектности получаемых камней потому, что в их структуре за счет технически эффективного соотношения между величинами поверхностных энергий волокнистых и зернистых частиц сырьевых компонентов бетонной смеси формируются кластеры трубчатой, а не зернистой формы [9].

Развитие технологии железобетона поставило на повестку дня и проблемы коррозионной стойкости стержневой металлической арматуры [3, 10] в составе

Вид и диаметр стержневой арматуры, мм	Длина фибры, мм	Содержание фибры, % от массы цемента	Относительная прочность сцепления ( $R_{сц}/R_{сж}$ )	Прочность сцепления, МПа
Стеклопластиковая, 6	Без фибры		0,45	10,18
	12	0,5	0,46	10,41
	24	1	0,62	13,51
	12	1	0,48	10,3
	24	0,5	0,6	12,1
Стеклопластиковая, 12	Без фибры		0,31	6,64
	12	0,5	0,34	7,71
	24	1	0,42	8,97
	12	1	0,37	7,95
	24	0,5	0,4	8,86
Металлическая, 6	Без фибры		0,42	9,24
	12	0,5	0,43	8,99
	24	1	0,57	11,98
	12	1	0,47	10,2
	24	0,5	0,53	11,4
Металлическая, 12	Без фибры		0,34	7,41
	12	0,5	0,35	7,84
	24	1	0,39	8,31
	12	1	0,35	7,72
	24	0,5	0,38	8,13

железобетонных конструкций. Для ряда наименований эффективно проявила себя стеклопластиковая стержневая арматура [11] поскольку неэлектропроводна, обладает относительным удлинением близким к предельной растяжимости бетона, а прочностью при растяжении большей не менее чем на полтора порядка. Именно поэтому было принято решение о важности экспериментальной оценки прочности сцепления различных по вещественной природе видов стержневой арматуры с равнопрочными бетонами и фибробетонами.

Для изготовления контрольных образцов был подобран тяжелый бетон слитной структуры класса по прочности В20. Указанный класс бетона выбран потому, что многие железобетонные конструкции транспортного назначения в РФ изготавливаются именно из бетонов В20.

В качестве вяжущего вещества использовали сульфатостойкий портландцемент М400. Мелкий заполнитель – песок речной, содержащий пылеватых и глинистых примесей 1,88% с модулем крупности  $M_{кр}=1,28$ . Щебень гранитный крупностью 5–20 мм оптимального зернового состава.

Были изготовлены смеси без дисперсной арматуры и с арматурой из полиамидных (ПА) волокон длиной 12 и 24 мм с содержанием 1 и 0,5% от массы цемента. Смеси обладали удобоукладываемостью П3 и твердели в нормальных условиях. Их изготовление осуществлялось в лабораторном турбулентном смесителе емкостью 60 л со скоростью движения рабочего органа 350 об/мин.

Приготовленные смеси укладывались в формы кубов с ребром 100 мм, оборудованных шаблонами для обеспечения вертикального расположения в них арматурных стержней. Арматурные стержни периодического профиля диаметрами 6 и 12 мм изготавливались из стеклопластиковой и металлической арматуры класса А400. Прочность при растяжении стеклопластиковой арматуры составляла 1000 МПа, модуль упругости 45 ГПа. Возможность применения такой арматуры в строительных конструкциях регламентирована СНиП 52-01–2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», п. 5.3. «Требования к арматуре». Уплотнение смесей в течение 1 мин осуществляли с помощью лабораторной виброплощадки. Частота вертикальных колебаний 3000 в мин, амплитуда 0,1 мм. Оценка прочности сцепления арматуры с бетонами осуществлялась методом выдергивания арматурного стержня из бетонного куба [11].

Испытания образцов на сжатие показали, что величина прочности фибробетона снижается на 4–9% по отношению к бетону, не содержащему дисперсной арматуры. Изменяется характер трещинообразования (рис. 1). Бетоны без дисперсной арматуры разрушались хрупко, разделяясь на части.

На рис. 1 видно, что несмотря на утрату несущей способности под действием сжимающей нагрузки, от образца не отделилось крупных фрагментов. Он изменил форму, получил большое количество трещин, но не разделился на части. Последнее крайне важно в условиях воздействия на строительные конструкции чрезвычайных ситуаций (землетрясения, взрывы и т. п.) так как от характера разрушений строительных конструкций зависят здоровье и жизнь людей, находящихся в это время внутри сооружений. В таблице приведены результаты влияния дисперсного армирования полиамидными волокнами на прочность сцепления бетонов слитной структуры со стержневой арматурой периодического профиля из стеклопластика и арматурной стали.

Анализ полученных данных (см. таблицу) показывает, что у металлической арматуры диаметром 12 мм сцепление с бетоном и фибробетоном практически оди-



**Рис. 2.** Характер нарушения сцепления между фибробетоном и арматурой различной вещественной природы

наково. Полученные различия могут быть отнесены к погрешностям измерений. Для диаметра 6 мм наблюдается повышение прочности сцепления до 23% в том случае, когда содержание длинной фибры достигает 1% от массы цемента. Насыщение бетонной смеси фиброй длиной 12 мм в лучшем случае не превышает 10%, что в таких материалах, как бетон, можно считать незначимым.

Прочность сцепления стеклопластиковой арматуры с бетоном более существенно зависит от длины и концентрации в нем дисперсно-распределенных волокон. Для стержней диаметром 12 мм повышение прочности сцепления составляет 14%, а для диаметра 6 мм оно достигает 25%. На рис. 2 хорошо виден характер нарушения сцепления фибробетона со стеклопластиковой арматурой.

На переднем плане рис. 2 расположен образец со стеклопластиковой арматурой, на большей части поверхности которой видны остатки бетонной матрицы. В глубине снимка виден образец с металлической стержневой арматурой, поверхность которой практически не содержит следов сцепления с бетоном.

Сравнивая показатели прочности сцепления бетона с каждым из видов стержневой арматуры можно заключить, что со стеклопластиковыми стержнями бетон и фибробетон взаимодействуют на 1–2 МПа прочнее. Следовательно, применение стеклопластиковой арматуры в конструкциях из фибробетона может способствовать повышению их эксплуатационной надежности и энергоемкости разрушения.

### Выводы

1. Обоснована практическая потребность строительного комплекса в материалах и конструкциях повышенной энергоемкости разрушения.

2. Показано, что дисперсное армирование бетонов волокнами обеспечивает повышение их прочности на растяжение и, как следствие, повышение энергоемкости разрушения.

3. Из экспериментальных данных, полученных в ходе данной работы, следует, что для строительных изделий, изготавливаемых из бетонов, дисперсно-армированных синтетическими волокнами, рационально применять каркасы из стеклопластиковой арматуры, так как прочность сцепления с ней выше, чем с арматурной сталью.

**Список литературы**

1. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. Вопросы теории и проектирования, технологии, конструкции. Монография. М.: АСВ, 2004. 560 с.
2. Хейнтц А. Фибробетон. Перспективы применения // *Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии*. Ежегодный сборник. 2009. Вып. 2. С. 92–94.
3. Талантова К.В., Михеев Н.М. Сталефибробетон и конструкции на его основе. Монография. СПб: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2014. 280 с.
4. Моргун Л.В., Моргун В.Н., Смирнова П.В., Бацман М.О. Зависимость скорости формирования структуры пенобетонов от температуры сырьевых компонентов // *Строительные материалы*. 2008. № 6. С. 50–52.
5. Петрова Т.М., Сорвачева Ю.А. Внутренняя коррозия бетона как фактор снижения долговечности объектов транспортного строительства // *Наука и транспорт. Транспортное строительство*. 2012. № 4. С. 56–60.
6. Stark J. Alkali-Kieselsaure-Reaktion. F.A. Finqer institute fur Baustoffkunde. 2008. 139 p.
7. Управление процессами технологии, структурой и свойствами бетонов / Под ред. Е.М.Чернышева, Е.И. Шмит'ко. Воронеж: ВоронежГАСУ, 2002. С. 78–124.
8. Герега А.Н., Выровой В.Н. Управление свойствами композиционных материалов. Перколяционный подход // *Вестник ОГАСА*. 2005. Вып. 20. С. 56–61.
9. Моргун Л.В., Моргун В.Н., Пименова Е.В., Смирнова П.В., Набокова Я.С. Возможность применения неавтоклавного фибропенобетона в крупнопанельном домостроении // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 19–21.
10. Розенталь Н.К. Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод // *Бетон и железобетон*. 2011. № 2. С. 78–85.
11. RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials. 1994. 618 p.

**References**

1. Rabinovich F.N. Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov. Voprosy teorii i proektirovaniya, tekhnologiya, konstruksii. [Composites based on dispersion-reinforced concrete. Theory and projection questions, technology, designs]. Monograph. Moscow: ASV. 2004. 560 p.
2. Kheintts A. Fibrous concrete. Application prospects. *Beton i zhelezobeton. Oborudovanie. Materialy. Tekhnologii*. Yearbook.2009. No. 2, pp. 92 – 94. (In Russian).
3. Talantova K.V., Mikheev N.M. Stalefibrobeton i konstruksii na ego osnove. [Steel fiber concrete and designs on his basis.] Monograph. St. Petersburg: PGUPS. 2014. 280 p.
4. Morgun L.V., Morgun V.N., Smirnova P.V., Batsman M.O. Dependence of the speed of formation of foam concrete structure on the temperature of the raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 6, pp. 50 – 52. (In Russian).
5. Petrova T.M., Sorvacheva Yu.A. Internal corrosion of concrete as a factor reducing the durability of objects of transport construction. *Nauka i transport. Transportnoe stroitel'stvo*. 2012. No. 4, pp. 56 – 60. (In Russian).
6. Stark J. Alkali-Kieselsaure-Reaktion. F.A. Finqer institute fur Baustoffkunde. 2008. 139 p.
7. Upravlenie protsessami tekhnologii, strukturoi i svoystvami betonov. [Management of technology processes, structure and properties of concrete]. Edited by E.M. Chernyshev, E.I. Shmit'ko. Voronezh: VGASU. 2002, pp. 78 – 124.
8. Gerega A.N., Vyrovoy V.N. Management properties of composite materials. Percolation approach. *Vestnik OGASA*. 2005. No. 20, pp. 56 – 61. (In Russian).
9. Morgun L.V., Morgun V.N., Pimenova E.V., Smirnova P.V., Nabokova Ya.S. Possibility of using non-autoclaved fibrous-foam concrete in large-panel housing construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 3, pp. 19 – 21. (In Russian).
10. Rozental' N.K. Corrosion and protection of concrete and reinforced concrete structures of wastewater treatment plants. *Beton i zhelezobeton*. 2011. No. 2, pp. 78 – 85. (In Russian).
11. RILEM Recommendations for the Testing and Use of Constructions Materials. 1994. 618 p.

**XVI МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ОСЕННИЙ  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
ФОРУМ**

**30** сентября –  
**2** октября  
**2014**  
**КАЗАНЬ**

XVI специализированная выставка  
**ЖИЛИЩЕ**

I специализированная выставка  
**МАЛОЭТАЖНОЕ  
СТРОИТЕЛЬСТВО**

VIII специализированная выставка  
**ИНЖЕНЕРНЫЕ  
КОММУНИКАЦИИ  
ЗДАНИЙ  
И СООРУЖЕНИЙ**

КАЗАНСКАЯ  
ЯРМАРКА

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

М.С. ЕЛСУФЬЕВА, инженер, В.Г. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук,  
А.Ф. БУРЬЯНОВ, д-р техн. наук (rga-service@mail.ru)

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

## Применение расширяющихся добавок в сталефибробетоне

Представлены результаты исследований влияния расширяющихся добавок на деформации и прочностные свойства сталефибробетона. Установлено, что введение различных расширяющихся добавок разнонаправленно влияет на деформации сталефибробетонов в зависимости от прочности матрицы и коэффициента армирования и позволяет получать композиты с собственными деформациями в пределах от -0,084 до 0,271 мм/м в возрасте 28 сут. Определены зависимости прочностных свойств сталефибробетонов с расширяющимися добавками от значений конечных деформаций. Оптимальное комплексное использование расширяющихся добавок (10% от массы цемента) и стальной фибры в составах композитов позволяет дополнительно увеличить их прочность при сжатии до 18,4% и прочность на растяжение при изгибе до 16,3%. Полученный эффект объясняется возникновением преднапряженного фиброкаркаса в матрице композиционного материала, формирование которого возможно только в определенных условиях.

**Ключевые слова:** сталефибробетон, расширяющиеся добавки, деформации, преднапряженный фиброкаркас.

M.S. YELSUFYEVA, Engineer, V.G. SOLOVYEV, Candidate of Sciences (Engineering), A.F. BURYANOV, Doctor of Sciences (Engineering) (rga-service@mail.ru)  
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

### The use of Expanding Additives in Steel Fiber Concrete

Results of the study of influence of expanding additives on deformations and strength properties of steel fiber concrete are presented. It is established that the introduction of various expanding additives multi-directionally influences on deformations of steel fiber concrete depending on the matrix strength and reinforcement coefficient and makes it possible to produce the composites with their own deformation within the limits from -0.084 up to 0.271 mm/m at the age of 28 days. Dependences of strength properties of steel fiber concretes with expanding additives on the values of finite deformations are determined. The optimal complex use of expanding additives (10% of cement mass) and steel fiber in composite compositions makes it possible to increase additionally their compressive strength up to 18.4% and the bending tensile strength up to 16.3%. The effect obtained is explained by the occurrence of a pre-stressed fiber frame in the matrix of composite material, formation of which is possible under certain conditions.

**Keywords:** steel fiber concrete, expanding additive, deformations, pre-stressed fiber frame.

Дисперсно-армированные бетоны в настоящее время являются одним из перспективных конструктивных материалов. Такие бетоны представляют собой одну из разновидностей обширного класса композиционных материалов, которые в настоящее время все более широко применяются в различных отраслях промышленности. Особое место в изучении свойств фибробетонов отведено их собственным деформациям в процессе твердения, так как именно они оказывают решающее влияние на формирование контактной зоны фибра – матрица и конечное состояние фибры в матрице, определяющее изменение физико-механических и эксплуатационных свойств.

Собственные деформации фибробетонов обусловлены влажностными, температурными и другими типами воздействия на бетон при отсутствии внешней нагрузки. Самым значительным эффектом является уменьшение объема в процессе твердения и соответственно линейные деформации усадки.

Усадка является основной причиной возникновения трещин в бетоне. Развитие усадочных деформаций на ранних этапах формирования структуры предопределяет развитие внутрискрустных напряжений и, как следствие, формирование дефектов в структуре твердеющего бетона. В более поздний период усадка способствует развитию первоначальных дефектов и вызывает образование микро- и макротрещин, что приводит к снижению трещиностойкости и долговечности бетонов.

В современном строительстве проблему усадки и, следовательно, повышения физико-механических и эксплуатационных свойств бетона возможно решить путем применения напрягающих цементов или введением в обычный портландцемент расширяющихся добавок [1, 2].

Также эффективным технологическим приемом снижения усадки и повышения трещиностойкости является использование стальной фибры, которая оказы-

вает существенное влияние на характер образования и распределения трещин в бетоне. Дисперсное армирование приводит к более равномерному перераспределению возникающих в бетоне усилий, блокирует развитие трещин и препятствует возникновению магистральных трещин [3].

Для получения бетонов с пониженным трещинообразованием, повышенными трещиностойкостью и прочностными характеристиками необходимо уменьшить их усадку до нуля, или получить расширяющиеся бетоны. Обеспечить данные деформации возможно введением расширяющихся добавок либо введением фибры. Однако до настоящего времени не был рассмотрен вопрос о комплексном влиянии расширяющихся добавок и фибры на деформации бетонов в процессе твердения, который и является целью данного исследования. Основанием для проводимого исследования являлась рабочая гипотеза, согласно которой расширение бетонной матрицы за счет введения расширяющихся добавок приведет к растяжению отдельных фибр и последующему формированию объемно-преднапряженного каркаса, который повысит физико-механические свойства фибробетона.

При проведении исследований в качестве вяжущего использовался портландцемент М500 Д0 по ГОСТ 10178,

**Таблица 1**

Характеристика	Наименование добавки		
	РД-Н	РСАМ	КРД*
Содержание SO <sub>3</sub> , мас. %	22,71	29,87	29,52
Содержание Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , мас. %	21,52	7,78	8,63
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	430	436	435
<b>Примечание.</b> *КРД – обозначение добавки КРДэрсаммикс (здесь и далее по тексту).			

Таблица 2

Наименование расширяющейся добавки	Концентрация добавки, %	$\epsilon$ , мм/м в возрасте 28 сут	Изменение деформаций в возрасте 28 сут*, %
Без добавки	0	-0,238	–
РД-Н	5	-0,119	50
	10	0,057	124
	15	-0,220	8
PCAM	5	-0,157	34
	10	0,271	214
	15	-0,130	45
КРД	5	-0,094	61
	10	0,069	129
	15	0,012	105

**Примечание.** \*По сравнению с контрольным составом без фибры и расширяющейся добавки.

Таблица 3

Тип добавки	Концентрация добавки, %	$\mu_v$ , %	Деформации в возрасте 28 сут, мм/м	Изменение деформаций в возрасте 28 сут*, %
Без добавки	0	0,3	-0,175	26
		1,1	-0,156	34
		1,9	-0,138	42
PCAM	5	0	-0,157	0
		0,3	-0,084	46
		1,1	-0,069	56
	10	1,9	-0,05	68
		0	0,271	0
		0,3	0,162	40
	15	1,1	0,137	49
		1,9	0,093	66
		0	-0,13	0
		0,3	-0,071	45
		1,1	-0,038	71
		1,9	-0,021	84

**Примечание.** \*По сравнению с контрольными составами без фибры и тем же содержанием расширяющейся добавки.

заполнителя – песок  $M_{кр}$  2,3–2,5 по ГОСТ 8736. В качестве расширяющихся добавок использовались добавки РД-Н (Россия), PCAM и КРДэрсаммикс (Белоруссия). Характеристики добавок (согласно паспортным данным) представлены в табл. 1.

Минералогическая основа применяемых добавок состоит из композиции, включающей алюминатные и сульфатосодержащие компоненты, эффект расширения от которых в большинстве случаев заключается в образовании трехсульфатной формы гидросульфалоумината кальция в результате взаимодействия алюмо- и сульфатосодержащих фаз.

На первом этапе исследования изготавливались образцы размером 70×70×280 мм из бетонной смеси с цементно-песчаным соотношением 1:2 при В/Ц=0,4, расширяющиеся добавки вводились в количестве 5, 10 и 15% от массы цемента, суперпластификатор (Полипласт СП-1) – 0,7% от массы цемента.

Результаты исследований по определению деформаций мелкозернистого бетона с расширяющими до-

бавками в возрасте 28 сут приведены в табл. 2.

Анализируя полученные данные (табл. 2), следует отметить, что максимальный эффект достигнут при введении добавки PCAM в количестве 10%, расширение которого составило 0,271 мм/м (214% по отношению к контрольному составу). Оптимальная дозировка всех используемых типов добавок, при которой зафиксировано максимальное расширение исследуемых композитов от 0,057 до 0,271 мм/м, составила 10% от массы вяжущего. При введении 5% расширяющихся добавок деформации бетонов увеличились по сравнению с контрольным составом на 34–61%; при 15% – на 8–105%.

В дальнейших испытаниях использовались составы бетонов с расширяющейся добавкой PCAM, так как она проявила оптимальный положительный эффект.

На втором этапе исследования в выбранные составы бетонной матрицы с расширяющимися добавками вводилась стальная фибра в количестве ( $\mu_v$ ) 0,3, 1,1 и 1,9% по объему. Для дисперсного армирования применялась стальная волновая фибра, изготовленная из высокоуглеродистой проволоки, с модулем упругости не менее 200 ГПа, временным сопротивлением разрыву не менее 1200 МПа. Длина фибры составляла 15 мм, диаметр 0,3 мм. Собственные деформации фибробетонов с расширяющимися добавками в процессе твердения определялись на образцах размером 70×70×280 мм. Добавка PCAM вводилась в количестве 5, 10 и 15% от массы вяжущего. Также были изготовлены дополнительные контрольные образцы со стальной фиброй, но без расширяющихся добавок. Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 3.

На основании проведенных испытаний установлено влияние стальной фибры на собственные деформации сталефибробетонов в процессе твердения:

1. Введение стальной фибры в составы мелкозернистых бетонов без расширяющихся добавок приводит к снижению усадочных деформаций на 26–42%.
2. Введение стальной фибры в составы мелкозернистых бетонов с расширяющимися добавками в количестве 5 и 15%, усадка которых в возрасте 28 сут составляет 0,157 и 0,13 мм/м соответственно, приводит к снижению усадочных деформаций на 45–84%.
3. Введение стальной фибры в составы мелкозернистых бетонов с добавкой PCAM в количестве 10% от массы вяжущего, расширение которого в возрасте 28 сут составляет 0,271 мм/м, приводит к снижению расширяющихся деформаций на 40–66%.

Таким образом, можно установить, что введение стальной фибры в мелкозернистый бетон снижает его собственные деформации на 26–84% в зависимости от коэффициента армирования. Особого внимания заслуживает то факт, что установленная зависимость спра-

**Таблица 4**

Показатель	μ <sub>v</sub> , %	Содержание расширяющейся добавки РСАМ, %			
		0	5	10	15
Прочность при сжатии*, МПа, 28 сут твердения	0	38	39,5/3,9	41,1/8,2	40,2/5,8
	0,3	38,8	40,3/3,9	43,9/13,1	41,4/6,7
	1,1	44,2	47,1/6,6	48,9/10,6	46,9/6,1
	1,9	46,8	46,9/0,2	55,4/18,4	45,3/-3,2
Прочность на растяжение при изгибе*, МПа, 28 сут твердения	0	7,22	8,04/11,4	8,53/18,1	7,85/8,7
	0,3	10,25	9,08/-11,4	11,44/11,6	9,71/-5,3
	1,1	17,27	16,47/-4,6	19,63/13,7	14,38/-16,7
	1,9	20,74	19,18/-7,5	24,13/16,3	18,05/-13

**Примечание.** \*Первая цифра показывает натуральное значение, МПа, вторая – отношение к контрольному составу с тем же коэффициентом армирования без расширяющейся добавки, %.

ведлива как для усадочных, так и для расширяющихся деформаций. Это связано с тем, что стальная фибра воспринимает как сжимающие, так и растягивающие напряжения, возникающие за счет деформации бетонной матрицы в процессе твердения, и тем самым снижает общую деформацию всего композиционного материала в целом. При усадке бетонной матрицы в процессе твердения стальная фибра находится в сжатом состоянии, а при расширении – в растянутом, т. е. формируется преднапряженный фиброкаркас, который должен обеспечить дополнительное повышение прочностных и эксплуатационных свойств. Аналогичный механизм формирования преднапряженного фиброкаркаса наблюдается при тепловлажностной обработке сталефибробетона, однако в данном случае предварительное растяжение фибры происходит за счет термического воздействия по определенному режиму [4].

Для проверки предположения о формировании преднапряженного фиброкаркаса при расширении бетонной матрицы в процессе твердения были проведены испытания по определению прочности при сжатии и растяжении при изгибе для сталефибробетонов с расширяющейся добавкой РСАМ в количестве 5, 10 и 15% от массы цемента. Результаты испытаний сведены в табл. 4.

Установлено, что при введении расширяющейся добавки в количестве 5 и 15% от массы вяжущего в составы сталефибробетона с коэффициентом армирования 0,3–1,9% по объему прочность при сжатии изменяется незначительно – от -3,2 до 6,7%, а прочность на растяжение при изгибе снижается от 4,6 до 16,7%. При введении добавки РСАМ в количестве 10% от массы вяжущего прочность при сжатии увеличивается на 10,6–18,4%, а прочность на растяжение при изгибе на 11,6–16,3%.

Проанализировав полученные результаты прочностных свойств сталефибробетонов и данных об их собственных деформациях в процессе твердения, установлено, что наиболее эффективно применять расширяющиеся добавки для получения расширяющихся сталефибробетонов, так как при этом наблюдается дополнительное повышение прочностных свойств за счет формирования объемного преднапряженного фиброкаркаса. Применение расширяющихся добавок с целью получения сталефибробетонов с низкой или компенсированной усадкой менее эффективно, так как в данном случае наблюдается снижение прочности на растяжение при изгибе.

В результате исследований было установлено, что, изменяя количество и вид расширяющейся добавки и

варьируя коэффициент армирования, можно получить сталефибробетоны с регулируемыми значениями собственных деформаций, что позволит предотвратить развитие дефектов и снизить образование трещин, тем самым получив бетоны с повышенной трещиностойкостью и долговечностью.

Полученные результаты могут быть использованы для проектирования эффективных расширяющихся составов сталефибробетонов с повышенными эксплуатационными свойствами, предназначенных для заделок стыков железобетонных зданий и сооружений, монолитного бетонирования методом торкретирования тоннелей метрополитена, а также для ремонта и восстановления различных транспортных сооружений.

**Список литературы**

1. Титов М.Ю. Бетоны с повышенной прочностью на основе расширяющих добавок // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 84–86.
2. Звездов А.И., Будагянц Л.И. Еще раз о природе расширения бетонов на основе напрягающего цемента // *Бетон и железобетон*. 2001. № 4. С. 3–5.
3. Рабинович Ф.Н. Композиты на основе дисперсно-армированных бетонов. М.: Издательство АСВ, 2011. 642 с.
4. Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф., Елсуфьева М.С. Особенности производства сталефибробетонных изделий и конструкций // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 18–21.

**References**

1. Titov M.Y. Concretes with increased strength on the basis of expanding additives. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 2, pp. 84–86. (In Russian).
2. Zvezdov A.I., Budagyants L.I. Once again about the nature of the expansion of concrete on the basis of self-stressing cement. *Beton i zhelezobeton*. 2001. No. 4, pp. 3–5. (In Russian).
3. Rabinovich F.N. Kompozity na osnove dispersno armirovannykh betonov [The composites on the basis of dispersed-reinforced concretes]. Moscow: ASV. 2011. 642 p.
4. Solovyev V.G., Buryanov A.F., Yelsufyeva M.S. Features of the production of steel fibre concrete products and designs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 18–21. (In Russian).



# **KNAUF**



## **НЕМЕЦКИЙ СТАНДАРТ. ЕДИНОЕ КАЧЕСТВО ДЛЯ ВСЕХ СТРАН**

Высокие корпоративные принципы и традиции производства материалов КНАУФ — это залог качества в строительстве и ремонте!





# Памяти Бориса Семеновича Баталина

Ушел из жизни профессор Пермского национального исследовательского политехнического университета, доктор технических наук Борис Семенович Баталин. Он был признанным специалистом в области строительного материаловедения, искренним и отзывчивым человеком.

Борис Семенович Баталин родился 10 января 1937 г. в Челябинске; после окончания школы учился на геологическом факультете Пермского государственного университета. С 1968 г. по окончании аспирантуры Борис Семенович работал старшим преподавателем на кафедре строительного производства Пермского политехнического института. Кандидатскую диссертацию защитил в 1971 г., а спустя двадцать лет последовала защита докторской диссертации.

За все время научной деятельности Борисом Семеновичем было опубликовано более 280 научных работ, зарегистрировано более 55 патентов и изобретений. С 1993 г. он являлся профессором кафедры строительных материалов и специальных технологий Пермского государственного технического университета. Будучи заведующим кафедрой материаловедения и строительных конструкций Пермской государственной сельскохозяйственной академии, Б.С. Баталин внес значительный вклад в научную деятельность учебного заведения.

Борис Семенович являлся членом Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ) и членом Российской академии естествознания, заслуженным работником высшей школы Российской Федерации, заслуженным деятелем науки и образования. За успехи в изобретательской деятельности президиумом РАН был награжден медалью им. А. Нобеля. Ему было присвоено звание «Основатель научной школы». В строительном материаловедении Борис Семенович был известен своей бескомпромиссной позицией по необходимости применения экологически безопасных материалов, много его работ посвящено вторичному использованию отходов.

Под руководством Б.С. Баталина было защищено восемь кандидатских диссертаций. Им подготовлен ряд методических разработок по организации НИР студентов, в том числе конспекты лекций, монографии.

С журналом «Строительные материалы»<sup>®</sup> Бориса Семеновича Баталина связывало тесное сотрудничество и большие творческие планы. Предлагаемая вниманию читателей статья стала последней...

Светлая память о Борисе Семеновиче Баталине сохранится в сердцах всех знавших его людей.

УДК 678.746.33:614.841.41

Б.С. БАТАЛИН, д-р техн. наук, советник РААСН, М.П. КРАСНОВСКИХ, магистр (krasnovskih@yandex.ru)  
Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15))

## Долговечность и термическая устойчивость пенополистирола

В настоящее время вспененные полимерные материалы составляют обширный сегмент на мировом рынке пластмасс, они занимают до 10% от совокупного объема потребления полимерных смол. Мировой рынок пеноматериалов продолжает активно развиваться, при этом пенополистирол (ППС) является одним из самых популярных пенопластиков после пенополиуретана. На его долю приходится четверть мирового спроса. Изменение эксплуатационных свойств пенополистирола, широко применяющегося в строительстве, может происходить вследствие протекания фотоокислительных и термоокислительных процессов, в результате которых изменяется молекулярная масса и молекулярно-массовое распределение. Помимо этого причиной изменения эксплуатационных свойств могут являться и структурные изменения, которые происходят с течением времени и под действием сравнительно низкой температуры. Успешное применение любого полимерного материала в различных условиях зависит от его способности сохранять свои эксплуатационные свойства, т. е. от долговечности.

**Ключевые слова:** пенополистирол, полимерная теплоизоляция, окислительная деструкция полимеров, термоокислительная деструкция.

B.S. BATALIN, Doctor of Sciences (Engineering), Counsellor of RAACS, M.P. KRASNOVSKIKH, Master (krasnovskih@yandex.ru)  
Perm State National Research University (15, Bukireva Street, Perm, 614990, Russian Federation)

### Durability and Heat Resistance of Foam Polystyrene

At present foamed polymer materials occupy an extensive sector at the world plastic market, they total up to 10% of the total volume of polymer resins consumption. The world market of foamed materials continues to actively develop, at that foam polystyrene is one of the most popular foamed plastics after foam polyurethane. Its part is a quarter of the world demand. A change in operational properties of foam polystyrene, which is widely used in construction, can take place as a result of photo-oxidative and thermal-oxidative processes leading to change in the molecular mass and molecular-mass distribution. In addition, the reason for changing operational properties can be structural changes which occur during the time and under the effect of relatively low temperature. The successful use of any polymer material under various conditions depends on its ability to preserve its operational properties, i.e. on its durability.

**Keywords:** foam polystyrene, polymer heat insulation, oxidative destruction of polymers, thermal-oxidative destruction.

Целью устройства энергоэффективных ограждающих конструкций является сокращение расходов на отопление зданий и сооружений, что, в свою очередь, способствует сокращению энергопотребления. ППС,

широко используемый в современном строительстве как эффективный утеплитель [1], стал предметом ожесточенных споров по поводу его долговечности, экологической и пожарной опасности [2, 3]. Производители и

поставщики настаивают на его абсолютной безопасности, уверяя, что время эксплуатации исчисляется сроком 80–120 лет. Рекламные проспекты заверяют, что долговечность службы высококачественного пенополистирола подтверждена различными испытаниями. Приводятся особые качества твердого пенопласта, такие как устойчивость, долговечность материала, невосприимчивость к влаге и микроорганизмам, а также биологическая нейтральность (не загрязняет грунтовые воды).

Тем не менее некоторые потребители и ряд ученых придерживаются мнения, что это недолговечный и опасный материал, предлагая даже запретить использование ППС в строительстве жилья.

Хорошо известно, что пенополистирол имеет низкую огнестойкость. Даже введение антипиренов не спасает этот материал от стгорания при пожаре. Но главная опасность для конструкций стен заключается не в низкой огнестойкости пенополистирола, а в его низкой теплостойкости, равной 80–110°C. При этой температуре до возгорания в пенополистироле начинают развиваться процессы термоокислительной деструкции. Происходящие локальные пожары в отдельных квартирах домов в результате распространения температурной волны уничтожают утеплитель в стенах рядом расположенных квартир. В результате пенополистирол значительно изменяется в объеме, а в окружающую среду выделяются вредные вещества (Кондратенко В.А. Кирпичные страдания в свете СНиП II-3–79\* «Строительная теплотехника. Нормы проектирования // СтройПРОФИль. 2003. № 2). При повышении температуры более 85–90°C ППС, по данным ЦГСЭН Пермской области, начинает выделять ряд токсичных веществ, которые в случае пожара могут оказаться опасными для жизни людей.

Энергоэффективность, долговечность, пожаробезопасность и экологическая безупречность — основные критерии, которым должны отвечать современные здания и сооружения.

В России в настоящее время не существует утвержденного стандарта, регламентирующего требования к долговечности. Основным препятствием в его разработке является неординарное поведение пенополистирола в условиях эксплуатации. Например, стабильность его теплофизических характеристик во времени в большой степени зависит от технологии изготовления и совместности с другими строительными материалами в конструкциях стен и покрытий материалов [3].

Результаты обследования зданий с наружными стенами, утепленными пенополистиролом, показывают, что этот теплоизоляционный материал имеет ряд физических и химических особенностей, которые не учитываются проектировщиками, строителями и службами, ответственными за эксплуатацию зданий и сооружений.

О старении говорят в том случае, когда несмотря на использование в соответствии с его особенностями, т. е. при соблюдении всех ограничений в его использовании, материал изменяет свои свойства в результате естественного воздействия окружающей среды. Особого внимания заслуживают, конечно, только временные рамки и употребление, характерное для строительства. В целом старение выражается в том, что материал становится ломким и даже разрушается.

Причиной тому служит воздействие окружающей среды, такое как влияние воздуха (кислорода), воды, тепла, света, особенно солнечного ультрафиолетового излучения. Некоторые материалы могут разрушаться под воздействием ультрафиолета, если они не были изготовлены соответствующим образом или не были защищены от него позже. Теплоизоляционные материалы обычно защищены тем, что они встроены внутрь конструкции и прикрыты другими материалами.

Ограничения в применении материала определяют его химические и физические особенности. При этом большую роль играет устойчивость материала при механическом воздействии, термической нагрузке и стойкость к химическому воздействию.

Старение материала в условиях эксплуатации или хранения, по существу, является результатом целого ряда химических и физических превращений, протекающих в сложных многокомпонентных системах.

Установлено, что прочность образцов, отобранных из стен эксплуатируемых зданий, несколько ниже, чем образцов, взятых непосредственно с завода. На естественную деструкцию ППС дополнительно накладывается влияние технологических и эксплуатационных случайных факторов. Поэтому естественный процесс старения пенополистирола, медленно происходящий во времени, значительно ускоряется.

Вопросами окислительной деструкции полимеров занимались многие авторы. Можно обратиться к наиболее интересным работам. И.С. Филатов [4] приводит обширный экспериментальный материал по испытаниям различных полимеров в различных климатических условиях, а также подробно рассматривает механизмы окисления и деструкции большинства традиционно используемых полимеров. Н.Н. Павлов [5] систематизирует данные исследований советских и зарубежных ученых в области старения полимерных материалов, рассматривает влияние условий хранения и эксплуатации на изменение свойств полимеров различных классов.

Помимо указанных монографий существуют многочисленные публикации (Ананьев А.И., Лобов О.И., Можаяев В.П., Вязовченко П.А. Фактическая и прогнозируемая долговечность пенополистирольных плит в наружных ограждающих конструкциях зданий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2003. № 10. С. 16–17), [6], в которых авторы останавливаются на частных вопросах долговечности конкретных полимерных материалов. Большой интерес представляет диссертационная работа А.В. Ли [7], ставшая результатом изучения эксплуатационного ресурса и естественного старения полимерных теплоизоляционных материалов. Методика позволяет определить долговечность энергоэффективных ограждений в зависимости от климатических условий района строительства и их конструкции. На примерах пенопластов конкретных производителей показано, что долговечность ограждающих конструкций с их использованием варьируется от 13 до 43 лет.

Практически все полимерные материалы обладают низкой стабильностью свойств во времени. Под воздействием тепла, кислорода воздуха, света, механических напряжений, ионизирующих излучений и других факторов полимерные материалы стареют. В них протекают процессы, сопровождающиеся изменением химической и физической структур и ухудшением прочностных, диэлектрических и других свойств.

При рассмотрении старения полимеров как совокупности химических и физических превращений, протекающих при переработке, хранении и эксплуатации, необходимо иметь в виду, что сама по себе проблема старения оказывается достаточно многофакторной. Многофакторность состоит в том, что помимо сложной системы превращений, происходящих в полимерной матрице под влиянием внешних факторов, в большинстве случаев отсутствует простая связь между физико-химическими превращениями и макроскопическими свойствами полимерного материала. Это особенно важно учитывать при прогнозировании сроков хранения или эксплуатации.

Таким образом, стабильность свойств изделия в условиях эксплуатации может зависеть от стабильности

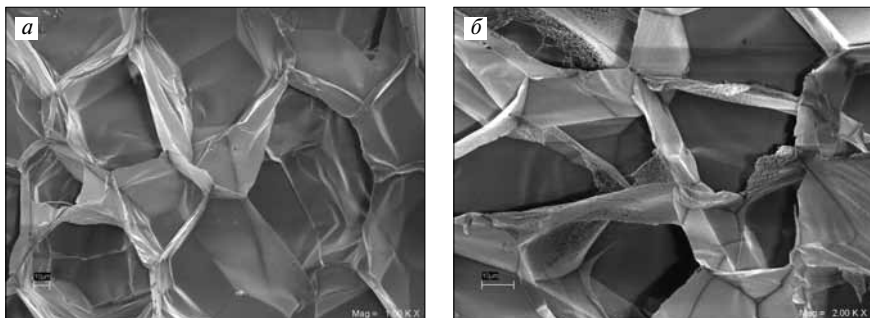


Рис. 1. Структура пенополистирола: свежего (а) и искусственно состаренного (б)

надмолекулярной организации. На стабильность надмолекулярной структуры во времени влияют многие и чисто технологические факторы, и факторы внешнего воздействия. Способность многих полимеров с течением времени изменять первоначальную структуру также может обусловить изменение комплекса свойств.

Экспериментальные исследования изменения коэффициента теплопроводности, прочности при сжатии при 10% деформации, средней плотности, усадки образцов ПМТ под воздействием циклических температурно-влажностных колебаний и постоянной повышенной температуры в работе А.В. Ли дают широкое представление об изменениях эксплуатационных свойств разных марок пенополистирола.

С течением времени свойства полимерного материала изменяются, что отражается на его работоспособности. В принципе такие изменения могут происходить как бы самопроизвольно. Однако поскольку материал находится в контакте с окружающей атмосферой, характеризующейся различным составом, необходимо учитывать влияние этих факторов.

Старением принято называть необратимое изменение полезных свойств полимерных материалов, которое происходит с течением времени в результате совокупности химических и физических превращений при их переработке, хранении и эксплуатации.

Старение, как правило, развивается в результате взаимодействия полимера с окружающей средой или внешними факторами. В общем виде к числу внешних факторов можно отнести температуру и влажность окружающей воздушной среды, световую или проникающую радиацию, наличие в окружающей воздушной среде агрессивных газов и/или паров, механические и электрические нагрузки и ряд других более специфических факторов, характерных для тех или иных условий эксплуатации.

В случае полистирола экспериментальное длительное тепловое старение показало, что к концу испытания произошло уменьшение молекулярной массы полимера. В процессе термоокислительной деструкции образуется смесь различных продуктов, что свидетельствует о сложности процессов окисления полистирола в условиях эксплуатации изделий. Образуются соединения, содержащие кислород, например спирты и карбонильные соединения. Так, появление желтой окраски у белых образцов пенополистирола может быть вызвано образованием соединений с  $\alpha$ -дикетонными группами. При фотоиницированной (световой) и термоокислительной деструкции возможно образование также продуктов деструкции основной цепи.

Деструкция пенополистирола существенно отличается от деструкции полистирола. В первую очередь это обусловлено развитой наружной поверхностью, характерной для всех вспененных пластмасс. Если в случае старения самого полистирола в атмосферных условиях происходит изменение молекулярной массы полимера только в тонком приповерхностном слое, то в случае

вспененного полимера ситуация усугубляется за счет гораздо большей площади поверхности. Для ячеек пенополистирола вероятность контакта с внешней средой в несколько миллионов раз больше, чем для плотного изделия из полистирола. Кроме того, при окислении обычного полимера стирола происходит медленное поступление кислорода в образец, поэтому скорость процесса лимитируется диффузией и окисление происходит в диффузионном режиме. В диффузионном режиме окислению

подвергаются в основном поверхностные слои полимера, поэтому за счет гораздо более высокой поверхности пенополистирола и наличия в воздушных ячейках полимера достаточного количества кислорода, процесс окисления проходит в несколько раз интенсивнее.

Рис. 1 подтверждает интенсивность проходящих процессов деструкции. Сравнивая фотографии свежего и искусственно состаренного, образца видно, что материал не только дает усадку, но и исчезает. Появляются пустоты.

Процессы термоокислительной деструкции полимеров являются универсальными, и их физические и кинетические закономерности необходимо учитывать во всех других видах молекулярного разрушения — при фото- и механодеструкции, при действии электрических зарядов и радиолизе и др.

Термодинамические условия эксплуатации полимерных материалов всегда невыгодны с точки зрения устойчивости и сопровождаются процессом хоть и медленной, но неуклонной деструкции. Происходит так называемое полимеризационно-деполимеризационное взаимодействие. При отводе мономера равновесие системы нарушается и начинается процесс деполимеризации. Поэтому в полимеризованных пластмассах, в том числе и в полистироле, всегда присутствует некоторое количество мономера (стирола), равновесная концентрация которого определяется термодинамическими характеристиками системы.

На рис. 2 представлены совмещенные кривые ГТ и ионного тока массы 104, характеризующие эмиссию стирола в результате высокотемпературной деструкции.

Для полистирола в форме плотных изделий регламентирующим началом деструкции выступает температурный фактор. И хотя ряд авторов считает, что ниже температуры разложения деполимеризация полистирола происходит только с поверхности изделия и ею можно пренебречь для целей практического примене-

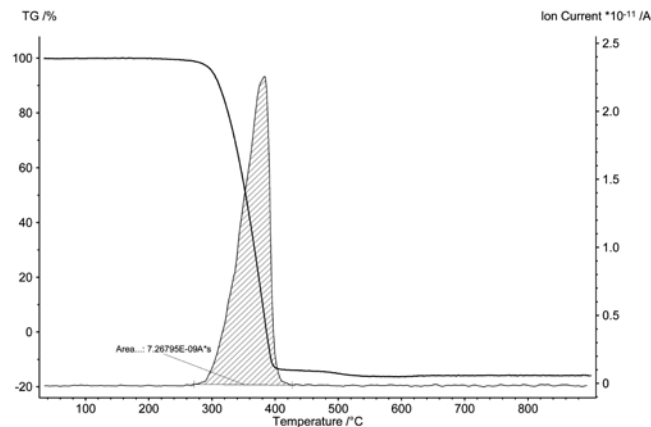


Рис. 2. Совмещенные кривые ГТ и ионного тока массы 104 (стирол)

ния, одновременность течения реакции полимеризации стирола и деполимеризации полистирола доказана экспериментально, т. е. деполимеризация происходит и при более низкой температуре. При температуре эксплуатации материала скорость протекания процесса гораздо ниже, нежели при высокотемпературных условиях.

Помимо частичной деполимеризации происходит окисление аморфного пенополистирола, которое является радикально-цепным процессом, приводящим к различным кислородсодержащим продуктам.

Главным разветвляющим агентом в процессе окисления полимеров является гидропероксид. Кроме того, он является и предшественником всех продуктов окисления и разрывов макромолекул, приводящих к изменению молекулярной массы и молекулярно-массового распределения [8].

При деструкции полистирола в результате внутримолекулярного замещения с последующим распадом макрорадикалов образуются низкомолекулярные вещества разнообразного состава — толуол, этилбензол, изопробилбензол, кумол. Продуктами окисления стирола на воздухе являются бензальдегид и формальдегид.

Также центрами очагов окисления могут быть включения микрочастиц металлического железа или его оксидов, попавших в полимер при технологической обработке, например при экструзии.

Термическое разрушение полимера сопровождается увеличением плотности. Изменение физико-механических свойств пенополистирола при старении обусловлено образованием более жесткой структуры. Все это приводит к тому, что сокращается время, в течение которого материал сохраняет комплекс полезных свойств.

Проведенные всесторонние теоретические и экспериментальные исследования физико-механических свойств и структуры пенополистирола позволяют выявить наиболее эффективные области применения данного теплоизоляционного материала строительного назначения в зависимости от условий эксплуатации. Детальное изучение макро- и микроструктуры пенополистирола при его старении позволило выявить основные физические закономерности деструкции полимерного материала [9].

Для определения срока службы материала необходимо иметь соответствующую информацию. Поэтому для обоснования срока эксплуатации сравнительно новых полимеров еще на стадии разработки необходимо располагать информацией об их поведении в предполагаемых условиях хранения или эксплуатации. Такая информация может быть получена при искусственных испытаниях. Обработка результатов испытаний позволяет выяснить потенциальные возможности материала и выбрать наиболее подходящий. Ведь непосредственно до эксплуатации, которая может осуществляться вне доступа всех деструктивных факторов, например светового воздействия, материал какое-то время подлежит хранению в различных условиях, и уже на этом этапе он может подвергаться старению в результате воздействия таких факторов, как температура, влажность и их колебания.

Таким образом, изменение эксплуатационных свойств пенополистирола, широко применяющегося в строительстве, может происходить вследствие протекания фотоокислительных и термоокислительных процессов, в результате которых изменяется молекулярная масса и молекулярно-массовое распределение. Помимо этого причиной изменения эксплуатационных свойств могут являться и структурные изменения, которые происходят с течением времени и под действием сравнительно низкой температуры.

Успешное применение любого полимерного материала в различных условиях зависит от его способности сохранять свои эксплуатационные свойства, т. е. от его долговечности.

#### Список литературы

1. Савкин Ю.В. Российский рынок пенополистирола: задачи, достижения, перспективы // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 18–20.
2. Ясин Ю.Д., Ясин В.Ю., Ли А.В. Пенополистирол. Ресурс и старение материала. Долговечность конструкций // *Строительные материалы*. 2002. № 5. С. 33–35.
3. Баталин Б.С., Евсеев Л.Д. Эксплуатационные свойства пенополистирола вызывают опасения // *Строительные материалы*. 2009. № 10. С. 55–58.
4. Филатов И.С. Климатическая устойчивость полимерных материалов. М.: Наука. 1983. 216 с.
5. Павлов Н.Н. Старение пластмасс в естественных и искусственных условиях. М.: Химия. 1982. 224 с.
6. Ананьев А.И., Лобов О.И., Можаяев В.П., Вязовченко П.А. Фактическая и прогнозируемая долговечность пенополистирольных плит в наружных ограждающих конструкциях зданий // *Жилищное строительство*. 2003. № 7. С. 5–10.
7. Ли А.В. Долговечность энергоэффективных полимерсодержащих ограждающих конструкций. Дисс... канд. техн. наук. Хабаровск. 2003. 143 с.
8. Эмануэль Н.М., Бучаченко А.Л. Химическая физика молекулярного разрушения и стабилизации полимеров. М.: Наука. 1988. 368 с.
9. Коканин С.В. Исследование долговечности теплоизоляционных материалов на основе пенополистирола. Дисс... канд. техн. наук. Иваново. 2011. 170 с.

#### References

1. Savkin Yu.V. Russian Market of Foam Polystyrene: Tasks, Achievements, Prospects. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 2, pp. 18–20. (In Russian).
2. Yasin Yu.D., Yasin V.Yu., Li A.V. Expanded polystyrene. Resource and material aging. Durability of designs. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2002. No. 5, pp. 33–35. (In Russian).
3. Batalin B.S., Evseev L.D. Operation Properties of Expanded Polystyrene Cause Concern. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 10, pp. 55–58. (In Russian).
4. Filatov I.S. Klimaticheskaya ustoichivost' polimernykh materialov [Climatic stability of polymeric materials]. Moscow: Nauka. 1983. 216 p.
5. Pavlov N.N. Starenie plastmass v estestvennykh i iskusstvennykh usloviyakh [Aging of plastic in natural and artificial conditions]. Moscow: Khimiya. 1982. 224 p.
6. Anan'ev A.I., Lobov O.I., Mozhaev V.P., Vyazovchenko P.A. The actual and predicted durability of polystyrene foam plates in external protecting designs of buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2003. No. 7, pp. 5–10. (In Russian).
7. Li A.V. Durability of energy-efficient polymer-containing enclosing structures. Cand. Diss. (Engineering). Khabarovsk. 2003. 143 p. (In Russian).
8. Emanuel' N.M., Buchachenko A.L. Khimicheskaya fizika molekulyarnogo razrusheniya i stabilizatsii polimeroev [Chemical physics of molecular destruction and stabilization of polymers]. Moscow: Nauka. 1988. 368 p.
9. Kokanin S.V. Research of durability of heat-insulating materials on the basis of expanded polystyrene. Cand. Diss. (Engineering). Ivanovo. 2011. 170 p.

Л.А. ЕРОХИНА, канд. техн. наук, А.С. ГРАБАРЕВ, инженер (grabarev88@gmail.com)

Ухтинский государственный технический университет (169300, Республика Коми, г. Ухта, Первомайская, 13)

## Состояние стен из легкого бетона при эксплуатации на Севере

Представлены данные о состоянии легкого бетона в ограждающих конструкциях зданий по истечении расчетного срока службы. На протяжении десяти лет велись наблюдения и съем показаний по температуре и влажности в структуре стены. Выявлено значительное повышение влажности воздуха внутри каждой структуры и появление конденсата в холодные зимние месяцы даже в структуре мало сорбирующего влагу материала. Изменения структуры ограждения на опытном стенде показали, что однородная структура керамзитогазобетона более соответствует своему назначению в условиях Севера. В квартирах десятилетиями сохраняются комфортные условия для проживания. Из этого материала вполне можно изготавливать ограждающие конструкции. Предложены варианты в случае необходимости снизить плотность и повысить теплосопrotивление стены.

**Ключевые слова:** керамзитогазобетон, теплосопrotивление, пенополистирол, микрозаполнитель, влагосодержание, конденсат.

L.A. EROKHINA, Candidate of Sciences (Engineering), A.S. GRABAREV, Engineer (grabarev88@gmail.com)  
Ukhta State Technical University (13, Pervomayskaya Street, Ukhta, 169300, Republic of Komi, Russian Federation)

### Condition of Lightweight Concrete Walls Operating in the North

Data on the condition of lightweight concrete in enclosing structures of buildings on expiration of their design life are presented. Monitoring and taking of readings of temperature and humidity in the wall structure were made during 10 years. A significant increase in air humidity inside the every structure and appearance of condensate in cold winter months even in the structure of material little absorbing the moisture is revealed. Changes of an enclosure structure on the test stand shows that the homogeneous structure of ceramsite-gas concrete more meets its purpose under conditions of the North. Comfort conditions for living are saved in apartments during decades. This material can be used for manufacturing enclosing structures. Variants are offered, if necessary, to reduce the density and increase the heat resistance of walls.

**Keywords:** ceramsite-gas concrete, heat resistance, foam polystyrene, micro-filler, moisture content, condensate.

Наружные ограждения зданий, защищая внутренние помещения от внешней среды, сами подвержены всем ее воздействиям как снаружи, так и изнутри, со стороны помещения. В домах на Севере колебания влажности внутреннего воздуха значительны. В летне-осенний период влажность воздуха внутри помещения бывает 60–80%, в то время как в отопительный период она снижается до 35%, в сильные морозы – еще ниже. Большая амплитуда колебаний влажности со средней температурой наружного воздуха ниже 0°C не способствует подсушиванию влаги внутри стены в короткое и холодное лето. Стеновой материал после сырого лета может уйти в зиму с высокой влажностью. Чтобы предотвратить конденсатообразование и трещинообразование, материал стены на Севере должен иметь низкую паропроницаемость и возможно более низкий коэффициент температурных деформаций, пониженную усадку при высокой морозостойкости, по крайней мере на глубину 20 см с наружной стороны. И в то же время иметь плотность, обеспечивающую теплозащитные качества, и прочность, достаточную для ограждающей конструкции.

Пятьдесят лет назад такой материал был найден и использован при изготовлении крупнопанельных зданий по всему Северу. Это безавтоклавный керамзитогазобетон плотностью 900–1000 кг/м<sup>3</sup>. За 40–50 лет эксплуатации зданий из этого материала как промышленного, так и жилого назначения практически не было случаев, чтобы жители квартир жаловались на промерзание стен или появление плесени на поверхности. Если и были случаи, то при обследовании оказывалось, что плохо заделан стык панелей или отсутствует утепление в углу чердака. Когда дефекты устранились, микроклимат в помещении восстановился. Эти дома были рассчитаны на 50 лет, но они еще послужат. В то время как в г. Кызыле, где панели в домах из керамзитобетона плотностью более 1000 кг/м<sup>3</sup>, отмечается значительный износ и промерзание стен [1]. На юге Дальнего Востока России влажность наружных стен доходит до 40% и более, стены промерзают [2].

Ужесточение требований СНиПов к теплосопrotивлению ограждающих конструкций потребовало доработки технологии с целью снижения средней плотности материала, чтобы не увеличивать толщину ограждения, хотя она была тоньше кирпичной стены – 40 см.

Поризованные газообразователем бетоны представляют собой разновидность легких бетонов на пористых заполнителях, в которых пространство между зернами пористого заполнителя заполнено ячеистой цементной связкой, благодаря чему материал сочетает повышенную трещиностойкость легких бетонов на пористых заполнителях и повышенные теплозащитные свойства ячеистых бетонов. Сочетание пористого заполнителя с ячеистой связкой позволило получить качественно новый материал с улучшенными свойствами. Паропроницаемость автоклавного газобетона оказалась выше в три–пять раз, чем у керамзитогазобетона (0,13 и 0,03 мг/м·ч·Па) и в два раза выше у керамзитобетона без газообразования. С помощью газообразователя формируется слитная структура с обособленными газовоздушными ячейками, полностью не заполняющимися в воде, этому способствует вибровоздействие в период вспучивания массы. Совершенствование поровой структуры не дает существенного улучшения теплофизических свойств, однако оказывает большое влияние на физико-механические свойства и долговечность изделий [3].

Панельное домостроение все реже применяется по разным причинам, но использовать проверенный годами материал можно в других вариантах ограждений. Пример тому строительство жилых домов в Санкт-Петербурге при сочетании панелей с кирпичной кладкой или монолитное возведение стен из пенобетона в Москве. Специальными исследованиями выявлено, что минимальный расход керамзитового гравия, обеспечивающий удовлетворительную трещиностойкость, составляет 0,6–0,7 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> бетона. Но стойкость и долговечность материала зависят от поризованной матрицы. От насыпной плотности керамзитового гравия

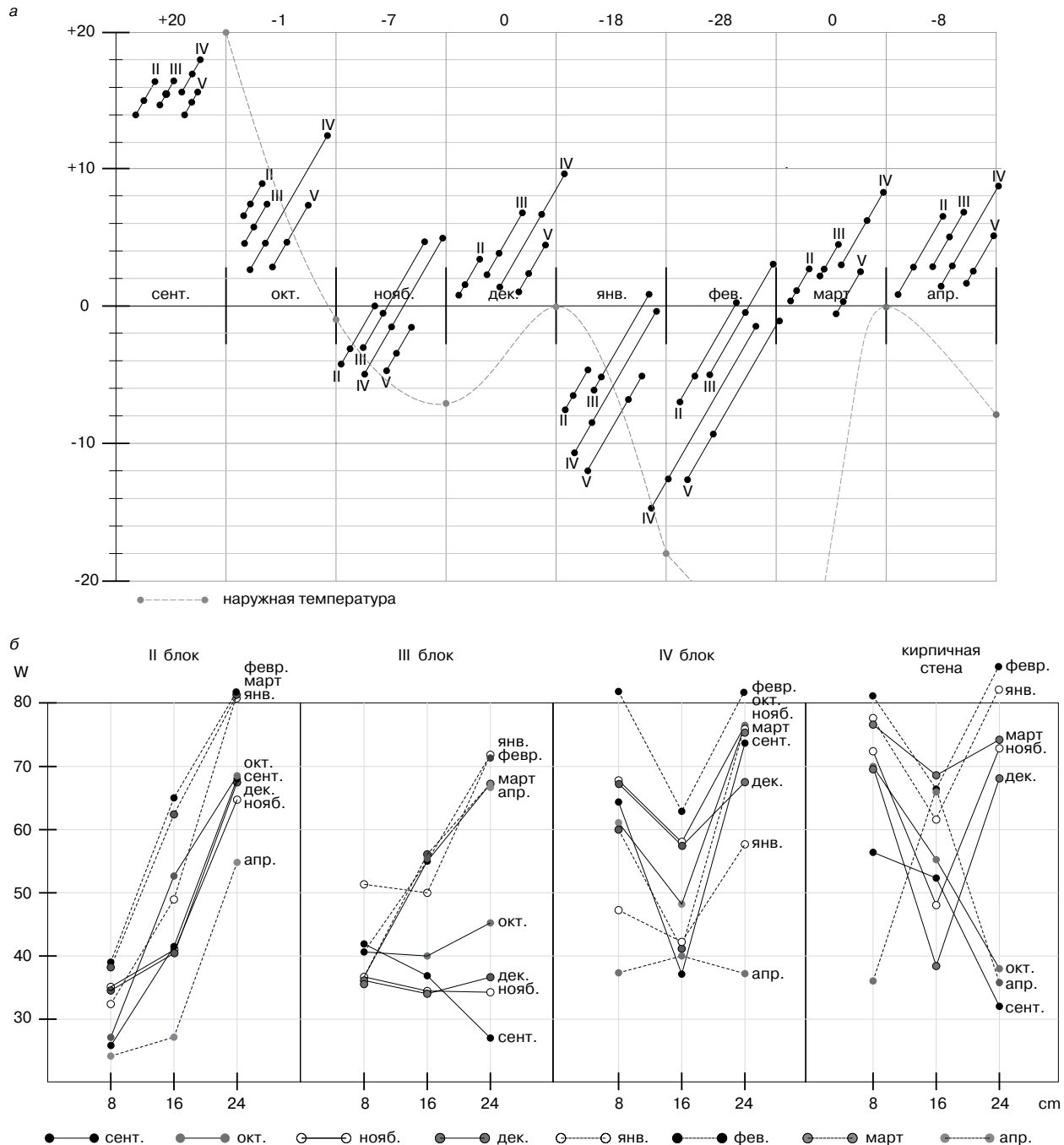


Рис. 1. Колебания температуры (а) и влажности воздуха (б) при изменении температуры в стене

зависит средняя плотность керамзитогазобетона, следовательно, если она выше  $500 \text{ кг/м}^3$ , получить низкую плотность конечного продукта невозможно. Использование в качестве крупного заполнителя гранул пенополистирола позволило получить плотность легкого бетона  $500 \text{ кг/м}^3$  и менее, но прочность таких составов без тепловой обработки 2 МПа, что является очень малым показателем.

Была поставлена задача снизить массу изделия, не снижая его прочности. Газобетонная технология позволяет увеличить сцепление пористой матрицы с утеплителем и пройти через него, если в нем есть отверстия, охватив его со всех сторон монолитно. При формировании на вспучивающуюся массу положили слой утеплителя из более легкого материала, который не впитывает влагу из пластичной массы, сверху — опять слой из вспучивающейся массы. Так с теплой прослойкой можно исполь-

зовать керамзитогазобетон плотностью  $800\text{--}900 \text{ кг/м}^3$  и прочностью 4–5 МПа, утепляя его слоем эффективного материала, в котором есть отверстия для миграции влаги наружу. В результате высыхание идет интенсивнее. Роль утеплителя (1 или 2 слоя) выполняли плиты из пенополистирола толщиной 15 мм с перфорацией по всей площади диаметром 3–5 мм. Эти отверстия при вспучивании полностью заполняются газобетоном, соединяясь с последующим его слоем, образуя монолит [4].

Опытные блоки показали свою устойчивость в стене и наблюдаются уже десять лет. Чем ближе к наружной поверхности, тем выше влажность воздуха в капиллярной системе каждого блока, даже плохо сорбирующего влагу, такого как кирпич. Испытывали слоистые структуры в блоках из керамзитогазобетона (I и III), газобетона с гранулами из пенополистирола в качестве крупного заполнителя (II), блок с воздушной прослойкой и

Показатели	Керамзитогазобетон, $\rho=980 \text{ кг/м}^3$	Керамзитогазобетон, $\rho=800 \text{ кг/м}^3$	Керамзитогазобетон, $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$
Плотность ячеистой связки в бетоне, $\text{кг/м}^3$	1000	1000	1000
Водотвердое отношение	0,47	0,62	0,34
Плотность материала межъячеистой перегородки, $\text{г/см}^3$	1,46	1,35	1,59
Воздухововлечение, об. %	43	52	46
Прочность бетона, МПа	6,7	5	5,5
Морозостойкость, цикл.	50	530	1000

толстым слоем 15 см пенополистирола перед воздушной прослойкой с кирпичной облицовкой (IV) и, для сравнения, кирпичную кладку (V) (рис. 1). На протяжении трех лет регулярно измеряли показания температуры и влажности на внутренней поверхности стены и на глубине до 24 см в каждом стеновом блоке. Кроме датчиков температуры и влажности была использована оригинальная методика по определению влажности с помощью сорбционной способности древесины. Так, было выявлено, что массовая влажность в керамзитогазобетоне составляет в разные месяцы 5–8%, в кирпичной кладке – не более 1% массовой влажности, в блоке с гранулами из пенополистирола – до 8%, а в слое из пенополистирола – до 9%.

В отверстия для замеров в каждом блоке, углубляясь к наружной поверхности, были размещены древесные кубики объемом  $1 \text{ см}^3$  каждый, изолированные друг от друга в отсеках, где по мере охлаждения стены они набирали в этой среде до 22% влаги уже в ноябре месяце. На кубике в глубине 24 см появлялась плесень, а в декабре внутри кирпича – иней и даже лед.

Но самую высокую влажность древесный образец набирает в блоке из пенополистиролгазобетона – 22,9%, в кирпичной кладке тоже много – до 21%. Ниже других оказалась влажность воздуха и самого материала в блоке с воздушной прослойкой после утепляющего слоя из пенополистирола и облицовкой из кирпича – 20%, а также в блоке из керамзитогазобетона (III) с прокладкой утеплителя у наружной поверхности.

Максимальная влажность и минимальная температура появились в разных блоках в разные сроки – в кирпичной стене, в блоке с воздушной прослойкой – к декабрю, в керамзито- и пенополистиролгазобетонах – к марту.

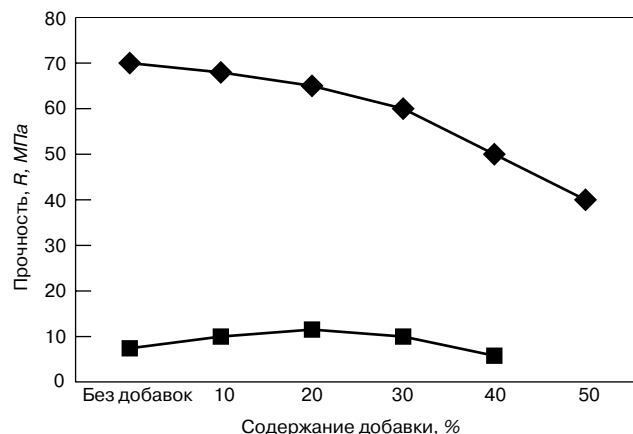
Изменение температуры в каждом отсеке показано на графике (точки). В соответствии с температурой изменялась и влажность воздуха, выносящего влагу наружу и конденсирующего ее внутри структуры (рис. 1). Вот почему древесный кубик увлажнялся, обладая высокой сорбционной способностью. Сам же материал стены такой влажности не имел.

К январю максимальная гигроскопическая влажность древесины наблюдалась на глубине 24 см для всех структур. С помощью оригинальной методики определения влажности внутри стены можно наглядно представить массоперенос в зависимости от температуры и структуры в каждом блоке. Если влажность самого материала стены (кирпича) не превышает 3–5%, то откуда в декабре на кирпиче появляется иней и даже лед?

При постоянном давлении с изменением температуры агрегатное состояние воды в поровом пространстве также меняется. Интенсивный рост теплопроводности в капиллярно-пористых телах связан с началом капиллярной конденсации влаги в порах и продолжается до максимальной влагоемкости. Пользуясь формулой Л.М. Никитиной [5], определяем перенесенную

массу вещества для  $1 \text{ м}^2$  стены из газобетона и кирпича – это  $7,43 \cdot 10^{-2}$  и  $6,12 \cdot 10^{-2}$  кг соответственно, что в пересчете на проценты составило 8,43 и 1,82%; для воздуха, заполняющего поровое пространство стены, – 18,3%. При низкой температуре массоперенос в кирпичной стене так же высок, как и в структуре из газобетона с гранулами из пенополистирола и в структуре с внешним слоем блока с воздушной прослойкой. В кирпичной стене при незначительном влагосодержании самого кирпича влажность воздуха в капиллярах велика, особенно зимой – до 90%, в отверстиях появляется лед, а не иней, массоперенос активно идет, больше, чем в других структурах, конденсат появляется раньше, эквивалентный коэффициент теплопроводности возрастает с 0,42 до 3,4  $\text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$ , теплосопrotивление стены снижается почти в 10 раз, тогда как в структуре с воздушной прослойкой меняется с 0,19 до 0,4  $\text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$  при максимальном увлажнении. В керамзитогазобетоне с утепляющим слоем коэффициент теплопроводности увеличился на глубине 24 см с 0,46 до 1,03  $\text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$ , в блоке из полистиролгазобетона – с 0,2 до 2  $\text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$ . И это в холодное время года, когда особенно нужна теплозащита. Температура на поверхности кирпичной стены внутри помещения составляла  $6^\circ\text{C}$ , на поверхности газобетонных – в два раза выше. Уже в апреле с появлением солнечных дней картина начинает меняться, влажность в структурах падает, материалы начинают подсыхать, кроме пенополистирола, в котором наблюдаются аномальные процессы, связанные с явлением облитерации, характерными для материалов с сечением пор  $< 10^{-7} \text{ м}$ . Этот материал трудно отдает влагу и даже при низкой влажности воздуха (6%) способен взять ее в свой адсорбционный слой по максимуму, после чего влагу уже почти не поглощает.

Этот эксперимент показал, что в холодном климате Севера влагосодержание воздуха в любой структуре



**Рис. 2.** Влияние пористой добавки на прочность тяжелого и легкого бетонов:  $\blacklozenge$  – влияние пористой добавки на тяжелый бетон;  $\blacksquare$  – влияние пористой добавки на легкий бетон

стены становится значительным, снижающим теплозащитные функции утеплителя. Температура влажного воздуха и воды при термодинамическом равновесии равна температуре твердого тела и влагоперенос будет происходить в соответствии с изменением свойств воды и влажного воздуха. Разница между коэффициентами диффузии при положительной и отрицательной температуре начинается уже при незначительном влагосодержании, особенно увеличивается при влажности более 47%, когда часть конденсата замерзает [6]. Поэтому в структуре стены необходима воздушная прослойка с пористой облицовкой снаружи, обеспечивающая выход влаги и низкий коэффициент теплопроводности. Хотя замеры в первые годы мониторинга опытного стенда показывали большую эффективность блока с воздушной прослойкой, при заморах через 10 лет эксплуатации кладочный раствор между кирпичами облицовки высох и частично выкрошился и воздух в прослойке быстро охлаждался. Если нет возможности устроить воздушную прослойку, лучшие показатели у однородной структуры керамзитогазобетона (III блок). На рис. 1, а можно проследить снижение температуры в каждом блоке на разной глубине по мере снижения внешней температуры и постоянное отставание по охлаждению на разной глубине в блоке III по сравнению с другими блоками. Снижению температуры в блоках соответствует повышение влагосодержания в воздушной среде на разной глубине в разных структурах, что наглядно отражено на диаграммах влажности и соответствует массопереносу. Блок из керамзитогазобетона (III), имея большое количество обособленных ячеек и плотные межячейчатые перегородки, способен высухать за короткое лето, и даже наблюдалось падение влажности во внешнем слое в сильные морозы ( $-30^{\circ}\text{C}$  и ниже), что, по-видимому, связано с сублимацией, когда мороз сушит внешний слой стены. В приморском климате с высокой влажностью необходима внешняя облицовка из плотной каменной плитки с воздушной прослойкой между стеной.

Ранее были публикации, когда, ссылаясь на низкую массовую влажность материала стены, считали, что конденсата быть не может, а тем более льда. В местах с более теплым климатом, может быть, это так [7], но в северных зонах страны даже кирпичная стена не гарантирует сухой среды в своем пористом пространстве. В сухой среде высушенная древесина влаги до 20% не наберет. Она высыхает в теплое время года, и надо, чтобы материал стены ее не удерживал, как пенополистирол, а отдавал, как кирпич или керамзитогазобетон. Структура его отличается закрытой пористостью, высокой морозостойкостью.

Еще 50 лет назад было показано, что материал ячеистой связки должен формироваться не на чистом цементе, но без кварцевого песка. Кварцевый песок утяжеляет смесь, увеличивает теплопроводность. Ячеистая структура газобетона имеет развитую удельную поверхность, при тепловой обработке и даже без нее с поверхности уходит вода и гидратация проходит с дефицитом влаги. Для уменьшения испарения целесообразно в состав цемента ввести микрозаполнитель — тонкодисперсные частицы молотого керамзита, шлака или отходов кирпича, зол ТЭС или микрокремнезема. Эта добавка в соотношении 1:0,3 или 1:0,5 (цемент:микрозаполнитель) позволяет увеличить водоудерживающую способность смеси и обладает пуццоланической активностью в большей или меньшей степени, за счет чего увеличивается прочность ячеистой связки на 30–40%, не увеличивая коэффициента теплопроводности (рис. 2). Формовочные смеси должны быть концентрированными, содержать минимально необходимое количество воды, предельно

гомогенизированными до полного смачивания частиц твердой фазы, но с минимальной толщиной водных прослоек между ними [8]. Зола — влагоудерживающий материал; стеновые панели с золой долго стабилизировались и покрылись сеткой трещин, подсыхая, поэтому от этой добавки отказались. Решили молоть керамзитовый гравий и вводить его в качестве мелкого заполнителя. Отпускная влажность изделий сразу снизилась до 10–12%.

В настоящее время есть эффективные пластификаторы, позволяющие приготовить пластичную нерасслаивающую смесь с невысоким водотвердым отношением. Добавка микрозаполнителя вызывает увеличение общей и капиллярной пористости, так как водоудерживающая способность чистого цементного теста максимум составляет 0,63, тогда как с микрозаполнителем — повышается от 0,66 до 0,72, после чего начинается водоотделение. Для вспучиваемой цементно-кремнеземистой смеси водотвердое отношение не должно быть низким, чтобы процессу вспучивания не мешала большая вязкость. Но все-таки чем ниже водотвердое отношение, тем плотнее будет структура цементной связки, тем выше прочность, тем больше закрытых пор (таблица).

Опыт изготовления легкого бетона с заполнителем из гранул пенополистирола не показал улучшения теплозащитных качеств и тем более прочности. Эффективнее вставить во внешний слой изделия перфорированный лист утеплителя из пенополистирола, где он мало препятствует миграции влаги, и в холодный период не увеличивает влажность в структуре, а с внешней стороны будет постепенно подсыхать [6].

При исследовании плотности поризованного цементного камня прослеживается прямая зависимость от нее прочности и морозостойкости, а значит, долговечности керамзитогазобетона. Этот материал полностью водой не насыщается.

Максимально допустимая толщина перегородки зависит от размера ячеек и уменьшается с увеличением их радиуса. Наиболее высокую морозостойкость показала структура керамзитогазобетона, имеющего оптимальное соотношение между цементом и микрозаполнителем и наиболее низкое водотвердое отношение, а также оптимальное соотношение между объемом воздуховлечения и радиусом ячеек вовлеченного воздуха. Наиболее оптимальная структура керамзитогазобетона соответствует материалу стен, из которых сделаны панели домов в северной зоне страны. Однородная структура легкого бетона для стен оправдала себя в условиях Севера за 50 лет эксплуатации.

#### Выводы

В северной зоне страны стеновые материалы должны иметь структуру, не задерживающую влагу в воздухе своей капиллярной системы. Материал стены за короткое и не всегда теплое лето должен просохнуть и уйти в зиму со своей сорбционной влажностью.

Несмотря на низкую сорбционную влажность материала стены, влага выносится к холоду через капилляры материала с воздухом, в котором содержание ее на холоде повышается до конденсирования на внутренней поверхности структуры и снижения теплозащитных качеств стены в самые холодные месяцы года. Утепляющие прослойки не должны задерживать выход влаги и просушки структуры; от косых дождей стену необходимо защищать плиткой на обрешетке.

Такой материал, как пенополистирол, имеющий низкий коэффициент теплопроводности, не пропускает влагу и увеличивает влагосодержание в пористой структуре материала. Поэтому в случае его использования в качестве теплоизолирующего слоя можно его перфорировать.





**Список литературы**

1. Седип С.С Тепловлажностный режим наружных керамзитобетонных стен жилых панельных зданий с дополнительным утеплением // *Строительные материалы*. 2007. № 6. С. 52–53.
2. Вавренюк С.В., Рудаков В.П. Применение ячеистых бетонов в условиях юга Дальнего Востока России // *Жилищное строительство*. 2013. № 12. С. 6–7.
3. Рахимбаев Ш.М., Аниканова Т.В. О влиянии размера и формы пор на теплотехнические характеристики ячеистых бетонов // *Бетон и железобетон*. 2010. № 1. С. 10–13.
4. Патент РФ 2385388 Стеновое ограждение здания / Л.А. Ерохина, Е.М. Верякина. Заявл. 28.07.08. Оpubл. 27.03.2010. Бюл. № 9.
5. Никитина Л.М. Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. М.: Энергия, 1968. 500 с.
6. Перехоженцев А.Г. Моделирование температурно-влажностных процессов в пористых строительных материалах. Ч. 10. Расчет коэффициента влагопроницаемости влажных пористых материалов в зависимости от температуры и влагосодержания // *Строительные материалы*. 2013. № 10. С. 46–48.
7. Протасевич А.М., Лешкевич В.В., Крутилин А.Б. Влажностный режим наружных стен зданий в условиях Республики Беларусь // *Жилищное строительство*. 2013. № 9. С. 37–40.
8. Сахаров Г.П., Стрельбицкий В.П. Перспективы развития производства и повышения качества ячеистых бетонов на традиционной и альтернативной основе // *Бетон и железобетон*. 2010. № 1. С. 5–10.

**References**

1. Sedip S.S Heat and humidity conditions haydite concrete exterior walls of residential panel buildings with additional insulation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 6, pp. 52–53. (In Russian).
2. Vavrenyuk S.V., Rudakov V.P. The use of cellular concretes under conditions of the south of the Russian far east. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 12, pp. 6–7. (In Russian).
3. Rakhimbaev Sh.M., Anikanova T.V. On the influence of pore size and shape on the thermal performance of cellular concrete. *Beton i Zhelezobeton*. 2010. No. 1, pp. 10–13. (In Russian).
4. Patent RF 2385388 Stenovoe ogradhdenie zdaniya [Wall cladding of the building] / L.A. Erokhina, E.M. Vertyaskina. Declared 28.07.08. Published 27.03.2010. Bulletin No. 9. (In Russian).
5. Nikitina L.M Termodinamicheskie parametry i koefitsienty massoperenosa vo vlazhnykh materialakh [Thermodynamic parameters and mass transfer coefficients in wet materials]. Moscow: Energiya, 1968. 500 p.
6. Perekhozhentsev A.G Simulation of temperature-humidity processes in porous building materials. Part10. Calculation of a coefficient of hydraulic conductivity of wet porous materials depending on temperature and moisture content. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 10, pp. 46–49. (In Russian).
7. Protasevich A.M., Leshkevich V.V., Krutilin A.B. Moisture conditions of building external walls under conditions of the Republic of Belarus. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 9, pp. 37–40. (In Russian).
8. Sakharov G.P., Strel'bitskii V.P. Prospects for the development of production and improve the quality of cellular concrete on the traditional and alternative basis. *Beton i Zhelezobeton*. 2010. No. 1, pp. 5–10. (In Russian).

**ВЫСТАВКА**

**СТРОИТЕЛЬСТВО**

39-я межрегиональная специализированная выставка с международным участием **ВОРОНЕЖ 2014** СТРОИТЕЛЬСТВО

**НОВЫЙ ФОРМАТ. БАЙЕРСКАЯ ПРОГРАММА**



совместно с Воронежским Энергетическим форумом **1-3 ОКТЯБРЯ 2014**

[www.veta.ru](http://www.veta.ru) (473) 251-20-12

Генеральный информационный спонсор



Генеральный спонсор информационный партнер



Генеральный спонсор информационный партнер



Генеральный спонсор информационный партнер



Официальный интернет-партнер



Информационный партнер



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; Р.М. АЛОЯН<sup>1</sup>, д-р техн. наук, член-корр. РААСН,  
ректор; Ф.Н. ЯСИНСКИЙ<sup>3</sup>, д-р физ.-мат. наук; М.В. БОЧКОВ<sup>1</sup>, инженер

<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)

<sup>3</sup> Ивановский государственный энергетический университет (153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34)

## Моделирование тепломассопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Часть 2. Динамика полей температуры при произвольном законе изменения температуры воздушной среды

Представлены физическая и математическая модели теплопереноса в древесине нагельного соединения. Физическая модель базируется на представлениях о древесине как коллоидном капиллярно-пористом теле. Показано, что в силу существенного различия теплофизических свойств металлического нагеля и древесины, и в первую очередь различия на порядок и более значений коэффициентов тепло- и температуропроводности, изменение температуры нагеля происходит в соответствии с изменением температуры воздушной среды эксплуатации; при этом в древесине формируются профили температуры, определяемые законом теплопроводности. Математическая модель основывается на нелинейном дифференциальном уравнении теплопроводности параболического типа с нелинейными граничными условиями первого и второго рода и на произвольном виде функции, определяющей начальное распределение температуры. С применением метода «микропроцессов» задача линеаризуется, становится возможным ее численно-аналитическое решение. Приведены графические иллюстрации модельных расчетов.

**Ключевые слова:** нагель, древесина, тепломассоперенос, метод «микропроцессов».

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; R.M. ALOYAN<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of RAACS, Rector;

F.N. YASINSKI<sup>3</sup>, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics); M.V. BOCHKOV<sup>1</sup>, Engineer

<sup>1</sup> Ivanovo State Polytechnical University (20, Mart 8th 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)

<sup>3</sup> Ivanovo State Power Engineering University (34, Rabfakovskaya Street, Ivanovo, 153003, Russian Federation)

### 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

Physical and mathematical models of heat transfer in the timber of dowel joint are presented. The physical model is based on the idea about timber as a colloid capillary-porous body. It is shown that due to the significant difference of thermo-physical properties of a metal dowel and timber (above all, the coefficients of heat conductivity and temperature diffusivity differ by an order and more) the change of dowel's temperature takes place in accordance with the change of operational air environment; at that, temperature profiles determined by the thermal conductivity law are formed in the wood. The mathematical model is based on the non-linear differential equation of heat conductivity of parabolic type with the non-linear boundary conditions of the first and second kind and on the general function which determines the initial temperature distribution. In case of the use of the "micro-processes" method the problem is linearized, its numerical-analytic solution becomes possible. Graphic illustrations of model calculations are presented.

**Keywords:** dowel, timber, heat and mass transfer, "micro-processes" method.

Работой [1] начат цикл публикаций, посвященный изложению результатов теоретических и экспериментальных исследований тепло- и массопереноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций.

Была представлена в общем виде краевая задача тепломассопереноса в древесине под воздействием циклических изменений нагревание – охлаждение в анализируемой системе, базирующаяся на системе нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных параболического типа с нелинейными граничными условиями и произвольным видом функций, определяющих начальные распределения потенциалов переноса [2–4].

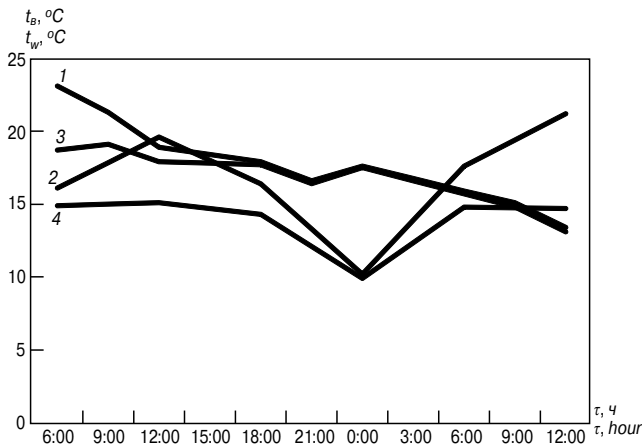
В настоящей работе на основе принятых физических представлений о процессах представлена краевая задача теплопереноса в древесине в циклах нагревание – охлаждение летнего периода.

We started a series of publications on the results of our theoretical and experimental investigation of heat and mass transfer in gas-solid system in dowel connection of the elements of the wooden structures after paper [1] had been written.

In general terms the boundary-value problem of heat transmission in the wood under the influence of cyclical changes heating – cooling in the system being analyzed based on the system of non-linear differential equations in partial differential coefficient of a parabolic type with non-linear boundary-value conditions and arbitrary kind of functions defining the initial distribution of potentials of transfer [2–4] was presented.

The boundary value problem of heat transfer in wood in heating – cooling cycles in summertime based on the received ideas on the physical processes is presented in this article.

Fig.1 shows charts of temperature variation of dry (1, 2) and wet (3, 4) thermometers for the two cities of Russia to



**Рис. 1.** Температурный график с 6.00 17 июля по 12.00 18 июля 2012 г. в городах по данным Росметеостата: 1 – температура сухого термометра, Йошкар-Ола; 2 – температура сухого термометра, Иваново; 3 – температура влажного термометра, Йошкар-Ола; 4 – температура влажного термометра, Иваново

**Fig. 1.** Temperature charts from 6.00 a.m. July 17<sup>th</sup> till 12.00 a.m. of July 18<sup>th</sup> 2012 according to Rosmeteostat data: 1 – dry-bulb thermometer temperature reading for Yoshkar-Ola; 2 – dry-bulb thermometer temperature reading for Ivanovo; 3 – wet-bulb thermometer temperature reading for Yoshkar-Ola; 4 – wet-bulb thermometer temperature reading for Ivanovo

На рис. 1 приведены графики изменения температуры сухого (1, 2) и влажного (3, 4) термометров для двух городов России – Йошкар-Олы (1, 3) и Иваново (2, 4) для одного и того же интервала времени – с 6.00 17 июля до 12.00 18 июля 2012 г.

Разумеется, в реальных природных условиях резких скачков температуры не наблюдается и все изменения происходят в определенных временных интервалах. Понятно, что приборами метеостанций данные фиксируются непрерывно, но в официальную отчетность поступают в определенные моменты времени. Что и получило свое отражение на рис. 1.

Вместе с тем интересно отметить, что в день, являющийся пиком лета, в обоих городах температура воздуха опускалась до температуры влажного термометра и соответственно достигала значения температуры точки росы. Причем если в Иваново это наблюдалось примерно в течение трех часов (от 0.00 до 3.00), то в столице Республики Марий Эл данный период был более длительным (с 20.00 17 июля до 8.00 18 июля).

В этих условиях можно записать, что изменение температуры во времени с формальной математической точки зрения определяется выражениями вида:

$$t_k(\tau) = f_1(\tau); \quad t_{w,t}(\tau) = f_2(\tau). \quad (1)$$

Известно [5], что любая графическая зависимость вида (1) может быть представлена гистограммой, изображенной на рис. 2.

Таким образом, логично предположить, что в пределах малого временного интервала:

$$\Delta\tau = \tau_i - \tau_{i-1} \quad (2)$$

значение функции (в данном случае  $t_{\theta,i}$  может считаться постоянным в пределах этого промежутка). А в этом и заключается суть метода «микропроцессов» [6].

В нагельном соединении элементов деревянных конструкций полагаем, что, в силу большого различия значений теплофизических коэффициентов металла и древесины, при изменении температуры окружающей среды температура нагеля изменяется более интенсивно и более равномерно по сечению изделия, а в древесине, в силу тепловой инерции, процессы тепло- и массопереноса протекают более экстенсивно.

be Yoshkar-Ola (1, 3) and Ivanovo (2, 4) for the same period of time – from 6.00 a.m. of July 17<sup>th</sup> till 12.00 a.m. of July 18<sup>th</sup> 2012.

It is clear that in real conditions rapid variations in temperature are not observed. All changes occur at specific time intervals. Certainly, weather station instruments continuously record weather data, but official reports arrive at certain time which is shown in Fig. 1.

At the same time, it is interesting to note that on the date of peak summer point, in both cities the temperature dropped to a wet bulb thermometer temperature and, accordingly, reached the value of dew point. Moreover, this situation was observed in Ivanovo for about three hours (from 0 to 3 a.m.), but the capital of the Republic of Mari El had the same for a longer period (8 p.m. of July 17<sup>th</sup> till 8 a.m. of July 18<sup>th</sup>).

Under these conditions, we can write down that the temperature variation over time with a formal mathematical point of view is defined by the expressions of (1).

$$t_k(\tau) = f_1(\tau); \quad t_{w,t}(\tau) = f_2(\tau). \quad (1)$$

It is known [5] that any characteristic curve of type (1) can be represented by the histogram shown in Fig. 2.

Thus, it is logical to assume that within a small time interval (2). The function value (in this case it is  $t_{k,i}$  can be considered to be constant within this interval).

$$\Delta\tau = \tau_i - \tau_{i-1} \quad (2)$$

It is the main point of the method of micro-processes spoken about in, for example [6].

We assume that in dowel connection of wooden structure elements due to large difference in values of thermal-physical coefficients of metal and wood, under the ambient temperature change, the block pin temperature changes more intensively and more uniformly over the cross section of the product; and in wood, due to the thermal inertia the processes of heat and mass transfer occur more extensively.

Structures and shapes of dowel connections are diverse [7–9]. However, to understand the main point of simulation methodology, we take a fairly simple, but at the same time, very common bolt connection.

From the standpoint of the geometrical configuration the block pin shaped as a bolt is a cylindrical body.

Therefore, the mathematical problem of heat transfer description in the system under study of metal – wood is to be presented in a cylindrical coordinate system.

Such a representation has certain disadvantages in terms of mathematical analysis, as the solutions of boundary value problems are usually obtained in the form of Bessel functions which have specific calculation features and sometimes pose serious difficulties in terms of methodology to develop practical design methods.

However, it is known that under certain ratios of geometrical dimensions the problem of heat transfer in a cylindrical coordinate system can be successfully replaced by a plane two-dimensional problem. For example, in accordance with Fig. 3 under the ratio of  $R_b/R_1 < 0,5$  the boundary value problem of heat conductivity in wood can be considered in the system of unlimited plates with thickness dimensions of (3).

$$\begin{aligned} \delta_1 &= R_1 - R_b \\ \delta_2 &= R_2 - R_1 \\ \dots\dots\dots \\ \delta_i &= R_i - R_{i-1} \end{aligned} \quad (3)$$

Under these conditions, the boundary value problem of heat transfer in wood for the first adjacent to the bolt ring is written as follows (4) – (7).

$$\rho c \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2}, \quad \tau > 0; \quad R_b \leq r \leq R_i; \quad (4)$$

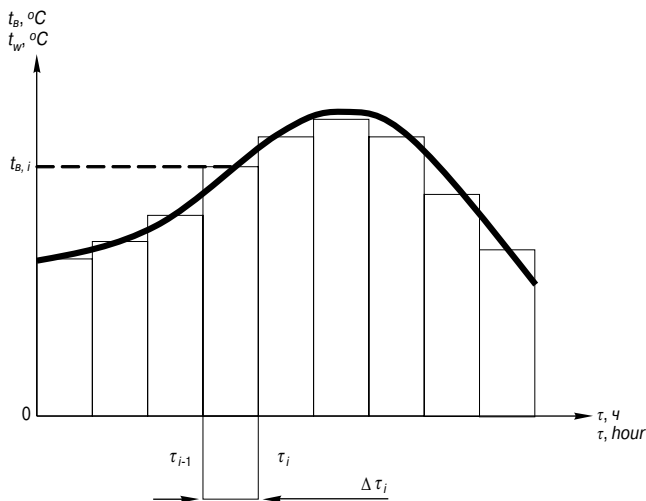


Fig. 2. Diagrammatical view of the curve and the bar chart

Конструкции и формы нагельных соединений весьма разнообразны [7–9]. Однако для понимания сущности методологии моделирования выберем достаточно простое, но вместе с тем весьма распространенное – болтовое.

С точки зрения геометрической конфигурации нагель в форме болта является цилиндрическим телом.

Поэтому математически задача описания теплопереноса в рассматриваемой системе металл – древесина должна представляться в цилиндрической системе координат.

Такое представление имеет определенные неудобства с точки зрения математического анализа, поскольку решения краевых задач, как правило, получаются в форме Бесселевых функций, которые обладают специфическими особенностями вычислений и порой создают серьезные трудности в методологическом плане для разработки методов практического проектирования.

Вместе с тем известно, что при определенных соотношениях геометрических размеров задача теплопереноса в цилиндрической системе координат может быть с успехом заменена плоской задачей. Например, в соответствии с рис. 3 при соотношении  $R_6/R_1 < 0,5$  краевая задача теплопроводности в древесине может быть рассмотрена в системе неограниченных пластин с размерами по толщине:

$$\begin{aligned} \delta_1 &= R_1 - R_6 \\ \delta_2 &= R_2 - R_1 \\ \dots\dots\dots \\ \delta_i &= R_i - R_{i-1} \end{aligned} \quad (3)$$

В этих условиях краевая задача теплопереноса в древесине для первого прилегающего к болту кольца запишется следующим образом:

$$\rho c \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 t(r, \tau)}{\partial r^2}, \quad \tau > 0; \quad R_6 \leq r \leq R_1; \quad (4)$$

$$t(r, \tau)|_{\tau=0} = t_0(r); \quad (5)$$

$$t(r, \tau)|_{r=R_6} = t_b(\tau); \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right|_{r=R_1} = 0, \quad (7)$$

где  $\rho, c, \lambda$  – соответственно плотность, теплоемкость и теплопроводность древесины. Выражение (5) является начальным условием задачи и характеризует поле температуры от поверхности нагеля (болта) во внутренние слои древесины по координате  $r$ .

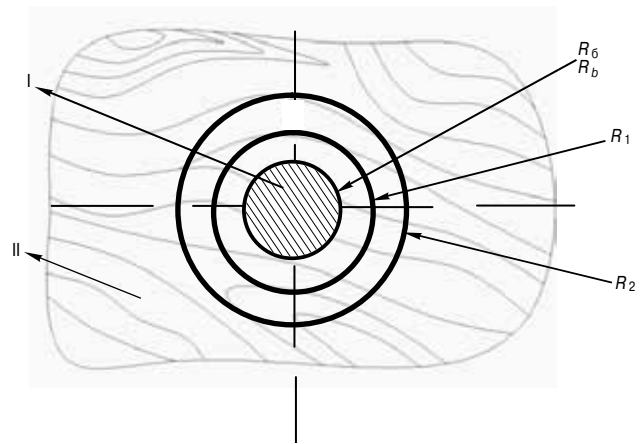


Fig. 3. Simulation of wood with ring system of (unlimited plates)  $R_2 > R_1 > R_b$ ; I is a block pin (bolt); II is wood

Fig. 3. Simulation of wood with ring system of (unlimited plates)  $R_2 > R_1 > R_b$ ; I is a block pin (bolt); II is wood

$$t(r, \tau)|_{\tau=0} = t_0(r); \quad (5)$$

$$t(r, \tau)|_{r=R_b} = t_b(\tau); \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right|_{r=R_1} = 0, \quad (7)$$

Here  $\rho, c, \lambda$  are density, heat capacity and heat conductivity of wood respectively. Equation (5) is the initial condition of the problem and it characterizes the temperature field from the surface of the dowel (bolt) to the inner layers of wood in the coordinate  $r$ .

Equations (6) and (7) are the boundary conditions: the first shows that the point of contact metal – wood is supposed to fit tightly and the equation of temperatures of wood and metal. The second equation shows that at the second boundary of the selected ring there performed a condition of thermal insulation. Later we will show space and time limits of the application of this condition.

As it was mentioned in [1], generally, the boundary value problem (4) – (7) is nonlinear, due to the fact that thermal properties of the wood depend on its temperature and humidity and because it is impossible to specify the explicit form of the function  $t_b(\tau)$  in the boundary condition (6), as the temperature of the metal strongly depends on the air parameters (of equation (1), (2) and Fig. 1) which can unpredictably during the day.

As it was said above in [1] to solve such tasks successfully the method of micro-processes is applied [6]. This method combines the advantages of analytical and numerical methods of mathematical analysis.

According to this method, the total process time is seen as an unbroken chain of successive micro-processes (8).

$$\tau_{proc} = \sum_{i=1}^n \Delta \tau_i. \quad (8)$$

Within each micro process, thermal parameters of the interacting media can be considered to be constant, but abruptly changing while shifting from the previous micro process to the following one. Under these conditions, the final temperature distribution obtained at the previous step of the calculation will be selected as an initial condition to make calculations at the following stage.

Then, boundary value problem of heat conductivity (4) – (7) for the first stage of the calculations and the first ring of the wood can be put as follows (9) – (12).

$$\frac{\partial t_1(r, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t_1(r, \tau)}{\partial r^2}, \quad \tau > 0; \quad R_b \leq r \leq R_1; \quad (9)$$

Записи (6) и (7) являются граничными условиями: первая отражает тот факт, что в месте контакта металл – древесина предполагается плотное прилегание и равенство температуры древесины и металла. Второе показывает, что на второй границе выделенного кольца осуществляется условие тепловой изоляции. Позднее рассмотрим пространственно-временные границы применения этого условия.

Как уже отмечалось в [1], в общем случае краевая задача (4) – (7) является нелинейной как в силу того, что теплофизические свойства древесины существенно зависят от ее влажности и температуры, так и в силу того, что задать явный вид функции  $t_6(\tau)$  в граничном условии (6) не представляется возможным, так как температура металла существенно зависит от параметров воздуха (уравнения (1), (2), рис. 1), которые непредсказуемым образом могут изменяться во времени суток.

Выше и в [1] отмечалось, что для решения подобных задач успешно применяется метод «микропроцессов» [6], сочетающий в себе преимущества аналитических и численных методов математического анализа.

Согласно данному методу общее время процесса представляется непрерывной цепью последовательных «микропроцессов»:

$$\tau_{проц} = \sum_{i=1}^n \Delta \tau_i. \quad (8)$$

В пределах каждого «микропроцесса» теплофизические параметры взаимодействующих сред можно считать постоянными, но скачкообразно изменяющимися при переходе от предыдущего «микропроцесса» к последующему. В этих условиях конечное распределение температуры, полученное на предыдущем шаге расчета, будет выбрано в качестве начального условия для расчетов на последующем этапе.

И тогда для первого этапа расчетов и первого кольца древесины краевую задачу теплопроводности (4)–(7) можно записать следующим образом:

$$\frac{\partial t_1(r, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t_1(r, \tau)}{\partial r^2}, \quad \tau > 0; \quad R_6 \leq r \leq R_1; \quad (9)$$

$$t_1(r, \tau)|_{\tau=0} = t_{1,0}(r); \quad (10)$$

$$t_1(r, \tau)|_{r=R_6} = t_{6,i}; \quad (11)$$

$$t_1(r, \tau)|_{r=R_1} = t_{R,1}. \quad (12)$$

Для упрощения анализа введем в рассмотрение безразмерные переменные вида:

$$T_1(\bar{r}, Fo) = \frac{t_1(r, \tau) - t_{R,1}}{t_{6,1} - t_{R,1}}; \quad \bar{r} = \frac{r}{R_1 - R_6}; \quad Fo = \frac{a\tau}{(R_1 - R_6)^2}. \quad (13)$$

В итоге задача (9)–(12) представится следующим образом:

$$\frac{\partial T_1(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T_1(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2}; \quad Fo > 0; \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1; \quad (14)$$

$$T_1(\bar{r}, Fo)|_{Fo=0} = T_{1,0}(\bar{r}); \quad (15)$$

$$T_1(\bar{r}, Fo)|_{\bar{r}=0} = T_{R,1}; \quad (16)$$

$$T_1(\bar{r}, Fo)|_{\bar{r}=1} = 0. \quad (17)$$

Итак, формально полученные записи означают, что для упрощения анализа мы поместили начало координат на границе металл – древесина.

Решение краевой задачи (14)–(17) будем искать методом интегрального преобразования Лапласа [10].

В области изображений по Лапласу решение уравнения (14) с учетом приведенных начального (15) и граничных (16, 17) условий будет иметь вид:

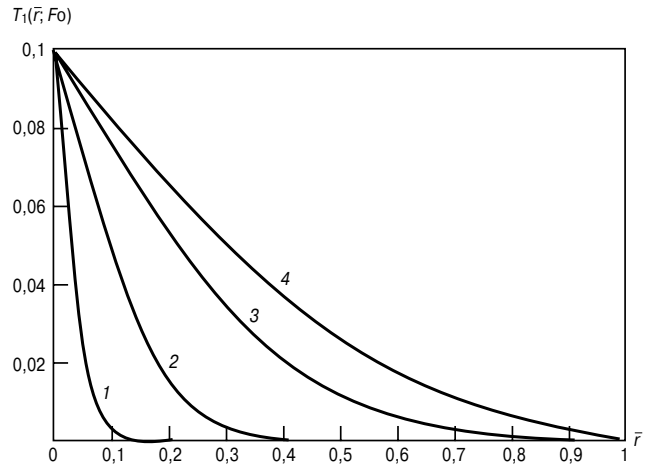


Рис. 4. Иллюстрация расчетов по выражению (19) Fo: 1 – 0,001; 2 – 0,01; 3 – 0,05; 4 – 0,1

Fig. 4. Calculations for expression (19) Fo: 1 – 0,001; 2 – 0,01; 3 – 0,05; 4 – 0,1

$$t_1(r, \tau)|_{\tau=0} = t_{1,0}(r); \quad (10)$$

$$t_1(r, \tau)|_{r=R_6} = t_{6,i}; \quad (11)$$

$$t_1(r, \tau)|_{r=R_1} = t_{R,1}; \quad (12)$$

To simplify the analysis, let us bring into consideration the dimensionless variables of the following type (13).

$$T_1(\bar{r}, Fo) = \frac{t_1(r, \tau) - t_{R,1}}{t_{6,1} - t_{R,1}}; \quad \bar{r} = \frac{r}{R_1 - R_6}; \quad Fo = \frac{a\tau}{(R_1 - R_6)^2}. \quad (13)$$

As a result, the problem (9) – (12) is seen in the following way (14) – (17).

$$\frac{\partial T_1(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T_1(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2}; \quad Fo > 0; \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1; \quad (14)$$

$$T_1(\bar{r}, Fo)|_{Fo=0} = T_{1,0}(\bar{r}); \quad (15)$$

$$T_1(\bar{r}, Fo)|_{\bar{r}=0} = T_{R,1}; \quad (16)$$

$$T_1(\bar{r}, Fo)|_{\bar{r}=1} = 0. \quad (17)$$

So, formally obtained data mean that to simplify the analysis, we placed the origin of the coordinates at the boundary of metal – wood.

The solution of the boundary value problem (14) – (17) is to be sought using the method of integral transformation of Laplace [10].

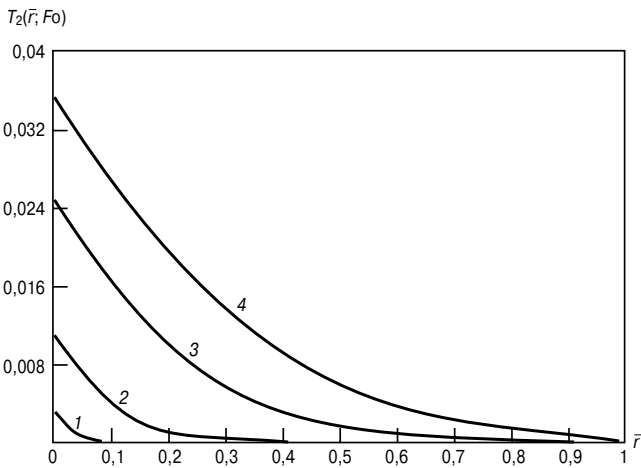
In the field of Laplace transform the solution of equation (14) considering the given initial (15) and boundary (16), (17) conditions will be as follows (18).

$$T_1(\bar{r}, s) = \frac{T_{R,1}}{s} \operatorname{ch}(\sqrt{s}\bar{r}) - \frac{T_{R,1}}{s} \frac{\operatorname{ch}\sqrt{s}}{\operatorname{sh}\sqrt{s}} \operatorname{sh}(\sqrt{s}\bar{r}) + \frac{\operatorname{sh}(\sqrt{s}\bar{r})}{\sqrt{s} \cdot \operatorname{sh}\sqrt{s}} \int_0^1 T_{1,0}(\xi) \operatorname{sh}\sqrt{s}(1-\xi) d\xi - \frac{1}{\sqrt{s}} \int_0^{\bar{r}} T_{1,0}(\xi) \operatorname{sh}\sqrt{s}(\bar{r}-\xi) d\xi. \quad (18)$$

In the resulting expression, the function  $T_1(\bar{r}, s)$  is so-called mapping function of  $T_1(\bar{r}, Fo)$  in the field of conformal images [10];  $\xi$  is a variable coordinate in the range of 0–1.

Omitting simple but bulky transformations we give the final solution of the boundary value problem (14) – (17) in the field of the originals (19).

$$T_1(\bar{r}, Fo) = T_{R,1} \left[ (1-\bar{r}) - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(\pi n \bar{r}) \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo) \right] + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \sin(\pi n \bar{r}) \int_0^1 T_{1,0}(\xi) \sin(\pi n \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo). \quad (19)$$



**Рис. 5.** Профили температуры для второго кольца:  $Ki_1=0,1$ ;  $Fo$ : 1 – 0,001; 2 – 0,01; 3 – 0,05; 4 – 0,1  
**Fig. 5.** Temperature profiles for the second ring:  $Ki_1=0,1$ ;  $Fo$ : 1 – 0,001; 2 – 0,01; 3 – 0,05; 4 – 0,1

$$T_1(\bar{r}, s) = \frac{T_{R,1}}{s} ch(\sqrt{s}\bar{r}) - \frac{T_{R,1}}{s} \frac{ch\sqrt{s}}{sh\sqrt{s}} sh(\sqrt{s}\bar{r}) + \frac{sh(\sqrt{s}\bar{r})}{\sqrt{s} \cdot sh\sqrt{s}} \int_0^1 T_{1,0}(\xi) sh\sqrt{s}(1-\xi) d\xi - \frac{1}{\sqrt{s}} \int_0^{\bar{r}} T_{1,0}(\xi) sh\sqrt{s}(\bar{r}-\xi) d\xi. \quad (18)$$

В полученном выражении функция  $T_1(\bar{r}, s)$  является так называемым отображением функции  $T_1(\bar{r}, Fo)$  в области конформных изображений [10];  $\xi$  – переменная координата в диапазоне 0–1.

Опуская несложные, но громоздкие преобразования, приведем окончательное решение краевой задачи (14)–(17) в области оригиналов:

$$T_1(\bar{r}, Fo) = T_{R,1} \left[ (1-\bar{r}) - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin(\pi n \bar{r}) \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo) \right] + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \sin(\pi n \bar{r}) \int_0^1 T_{1,0}(\xi) \sin(\pi n \xi) d\xi \cdot \exp(-\pi^2 n^2 Fo). \quad (19)$$

Результаты расчетов по выражению (19) приведены на рис. 4 в виде кривых, иллюстрирующих изменение безразмерной температуры по безразмерной координате в зависимости от безразмерного времени процесса.

Интересно отметить, что в условиях анализируемого примера при значении  $Fo=0,001$  профиль температуры распространяется не по всей координате  $\bar{r}$ , а только на расстоянии, равном 0,15, а при  $Fo=0,1$  уже по всей координате.

В этот момент в точке  $R_1$  образуется температурный градиент, и, следовательно, с этого момента возникает тепловой поток во второй слой. В размерных единицах плотность потока теплоты выражается известным уравнением:

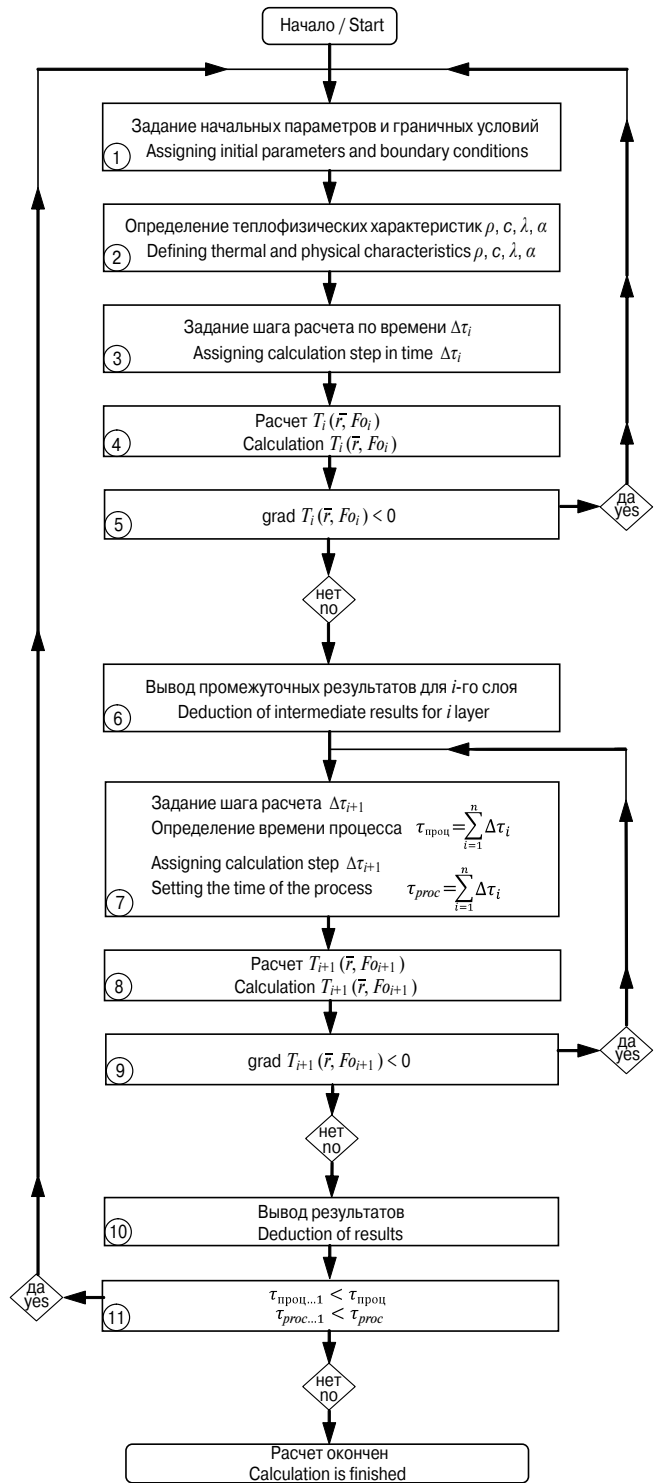
$$q_1 = -\lambda_1 \left. \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right|_{r=R_1}. \quad (20)$$

В безразмерном виде она приобретает следующий вид:

$$\left. \frac{\partial T_1(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=1} = -Ki_1, \quad (21)$$

$$\text{здесь } Ki_1 = \frac{q_1(R_2 - R_1)}{\lambda_1 \cdot t_{R_2}}, \quad (22)$$

критерий Кирпичева, являющейся в соответствии с теорией подобия [11] мерой соотношения плотности теплового потока, поступающего к границе раздела зон, к плотности потока теплоты, отводимого от границы во вторую зону посредством теплопроводности.



**Рис. 6.** Блок-схема алгоритма расчета теплопереноса в нагельном соединении  
**Fig. 6.** Functional diagram of the algorithm for calculating heat transfer in dowel connection

The results of calculations of expression (19) are shown in Fig. 4 as curves explaining the change in the dimensionless temperatures on the dimensionless coordinate depending on the dimensionless time of the process.

It is interesting to note that under the conditions of example being analyzed when the value of  $Fo=0,001$  temperature profile is extending not along all coordinate  $\bar{r}$ , but only at a distance of 0,15, and when the value of  $Fo=0,1$ , it extending along all the coordinate.

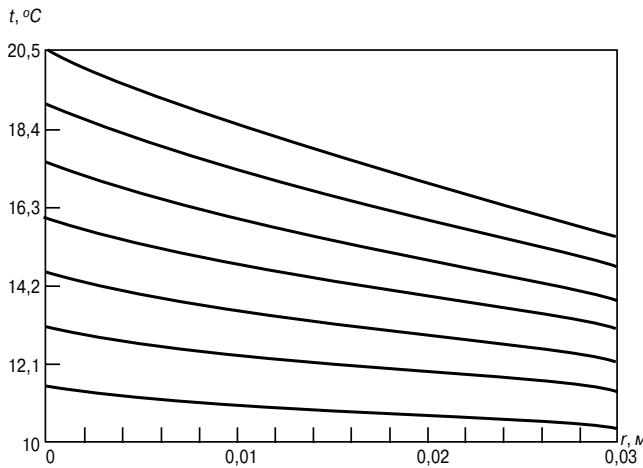


Рис. 7. Результаты расчетов теплопереноса в нагельном соединении в физических переменных

Fig. 7. Results of calculations of heat transfer in dowel connection in physical variables

Таким образом, для второй зоны краевая задача теплопроводности запишется так:

$$\frac{\partial T_2(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T_2(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2}; \quad Fo > 0; \quad 0 \leq \bar{r} \leq \frac{R_2 - R_1}{R_2}; \quad (23)$$

$$T_2(\bar{r}, Fo)|_{Fo=0} = T_{2,0}(\bar{r}); \quad (24)$$

$$\frac{\partial T(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}} \Big|_{\bar{r}=0} = -Ki_1; \quad (25)$$

$$T_2(\bar{r}, Fo)|_{\bar{r}=1} = 0. \quad (26)$$

Для рассматриваемого случая решение краевой задачи (23)–(26) в области изображений по Лапласу получаем в виде:

$$T_2(\bar{r}, s) = \frac{ch(\sqrt{s}\bar{r})}{ch\sqrt{s}} \left\{ \frac{Ki_1}{s\sqrt{s}} sh\sqrt{s} + \frac{1}{\sqrt{s}} \int_0^1 T_{2,0}(\xi) sh\sqrt{s}(1-\xi) d\xi \right\} - \left( \frac{Ki_1}{s\sqrt{s}} \right) \cdot sh(\sqrt{s}\bar{r}) - \frac{1}{\sqrt{s}} \int_0^{\bar{r}} T_{2,0}(\xi) sh\sqrt{s}(\bar{r}-\xi) d\xi. \quad (27)$$

И вновь выполняя несложные, но громоздкие преобразования (хронологию которых заинтересованный читатель может найти, например, в [6]), приводим окончательный вид решения краевой задачи (23) в области оригиналов:

$$T_2(\bar{r}, Fo) = Ki_1 \left\{ (1-\bar{r}) - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \cos \left[ \frac{\pi}{2} (2n-1)\bar{r} \right] \cdot \exp \left[ -\frac{\pi^2}{4} (2n-1)^2 Fo \right] \right\} + 2 \int_0^1 T_{2,0}(\xi) d\xi + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos \left[ \frac{\pi}{2} (2n-1)\bar{r} \right] \exp \left[ -\frac{\pi^2}{4} (2n-1)^2 Fo \right] \int_0^1 T_{2,0}(\xi) \cos \left[ \frac{\pi}{2} (2n-1)\xi \right] d\xi. \quad (28)$$

Реализация вычислений по формуле (28) приведена на рис. 5.

Следующим и очень важным этапом моделирования является задача сопряжения решений (19) и (28) по идеологии метода «микропроцессов». Для этой цели разработан алгоритм, показанный на рис. 6.

Численная реализация разработанной математической модели и алгоритма расчета осуществлялась для древесины нагельного соединения, выполненного из сосны, имеющей следующие теплофизические характеристики [12]: плотность  $\rho=550$  кг/м<sup>3</sup>, теплоемкость  $c=2510$  Дж/кг·К; теплопроводность  $\lambda_c=0,17$  Вт/(м·К); выбранная скорость подъема температуры металла нагеля составляла 1,5 К/ч.

At this moment at the point  $R_1$  temperature gradient is formed and consequently from this moment heat current is going into the second layer. In dimensional units, the density of heat flow is expressed by the known equation (20). In dimensionless form, it is as follows (21).

$$q_1 = -\lambda_1 \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \Big|_{r=R_1}, \quad (20)$$

$$\frac{\partial T_1(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}} \Big|_{\bar{r}=1} = -Ki_1, \quad (21)$$

$$\text{here } Ki_1 = \frac{q_1(R_2 - R_1)}{\lambda_1 \cdot t_{R_2}}, \quad (22)$$

Kirpichov's criterion which in accordance with the theory of similarity [11] is a measure of the ratio of the heat flow density going to the interface areas to the density of heat flow withdrawn from the boundary to the second zone with conductivity.

Thus, boundary value problem of heat conductivity for the second zone is as follows (23) – (26).

$$\frac{\partial T_2(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T_2(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2}; \quad Fo > 0; \quad 0 \leq \bar{r} \leq \frac{R_2 - R_1}{R_2}; \quad (23)$$

$$T_2(\bar{r}, Fo)|_{Fo=0} = T_{2,0}(\bar{r}); \quad (24)$$

$$\frac{\partial T(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}} \Big|_{\bar{r}=0} = -Ki_1; \quad (25)$$

$$T_2(\bar{r}, Fo)|_{\bar{r}=1} = 0. \quad (26)$$

For the case under consideration, the solution of boundary value problem (23) – (26) in Laplace transform, we obtain (27).

$$T_2(\bar{r}, s) = \frac{ch(\sqrt{s}\bar{r})}{ch\sqrt{s}} \left\{ \frac{Ki_1}{s\sqrt{s}} sh\sqrt{s} + \frac{1}{\sqrt{s}} \int_0^1 T_{2,0}(\xi) sh\sqrt{s}(1-\xi) d\xi \right\} - \left( \frac{Ki_1}{s\sqrt{s}} \right) \cdot sh(\sqrt{s}\bar{r}) - \frac{1}{\sqrt{s}} \int_0^{\bar{r}} T_{2,0}(\xi) sh\sqrt{s}(\bar{r}-\xi) d\xi. \quad (27)$$

Again, while doing simple but bulky transformations (the chronology of which the reader concerned can find, for example, in [6]), we give the final form of the solution of the boundary value problem (23) in the field of originals (28).

$$T_2(\bar{r}, Fo) = Ki_1 \left\{ (1-\bar{r}) - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \cos \left[ \frac{\pi}{2} (2n-1)\bar{r} \right] \cdot \exp \left[ -\frac{\pi^2}{4} (2n-1)^2 Fo \right] \right\} + 2 \int_0^1 T_{2,0}(\xi) d\xi + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos \left[ \frac{\pi}{2} (2n-1)\bar{r} \right] \exp \left[ -\frac{\pi^2}{4} (2n-1)^2 Fo \right] \int_0^1 T_{2,0}(\xi) \cos \left[ \frac{\pi}{2} (2n-1)\xi \right] d\xi. \quad (28)$$

Calculations using formula (28) is shown in Fig. 5.

The next and very important step in the process of simulation is the problem is conjoining problem solutions (19) and (28) using the method of micro-processes.

For this purpose, the algorithm shown in Fig. 6 was developed.

Numerical output of the developed mathematical model and calculation algorithm was performed for wood of dowel connection made of pine with the following thermal characteristics [9]: density  $\rho=550$  kg/m<sup>3</sup>, heat capacity  $c=2510$  J/kg·K; heat conductivity  $\lambda_c=0,17$  W/(m·K); selected rate of temperature rise of the metal dowel was 1,5 K/h.

Fig. 7 shows how in physical dimensional units of time and coordinates temperature fields in the wood conditions of the example being analyzed are developed.

На рис. 7 показано, как в физических размерных единицах времени и координат развиваются поля температуры в древесине в условиях анализируемого примера.

Очевидна не только качественная адекватность разработанной математической модели тепловых процессов и алгоритма ее реализации реальным физическим явлениям. Анализ расчетных результатов и данных метеонаблюдений (рис. 1, кривая 2) показывает их практически полную идентичность.

В следующей статье будут приведены результаты расчетов на стадии охлаждения воздуха и представлена математическая модель влагопереноса в древесине нагельного соединения.

#### Список литературы

1. Федосов С.В., Котлов В.Г., Алоян Р.М., Ясинский Ф.Н., Бочков М.В. Моделирование тепло-массо-переноса в системе газ – твердое при нагельном соединении элементов деревянных конструкций. Ч. 1. Общая физико-математическая постановка задачи // *Строительные материалы*. 2014. № 7. С. 86–91.
2. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массо-переноса. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963. 536 с.
3. Kreith F., Manglik R.M., Bohn M.S. Principles of heat transfer. 7 edition. Cengage Learning. 2010. 784 p.
4. Incropera F., DeWitt D. Fundamentals of heat and mass transfer. 6 edition. New York: Wiley. 2007. 997 p.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1974, 832 с.
6. Федосов С.В. Тепло-массо-перенос в технологических процессах строительной индустрии. Иваново: ПресСто, 2010. 364 с.
7. Патент РФ на изобретение № 1604945. Кл. Е 04 В 1/49. *Соединительный элемент для крепления деревянных деталей* / В.Г. Котлов, Н.Н. Степанов. Опубл. 08.07.1990. Бюл. № 4612756. 3 с.
8. Патент РФ на изобретение № 127775. Кл. Е 04 В 1/49. *Крепежный элемент для соединения деревянных деталей* / В.Г. Котлов, Б.Э. Шарынин, С.С. Муратова. Опубл. 10.05.2013. Бюл. № 13. 3 с.
9. Гётц К.-Г., Хоор Д., Мёлер К., Наттерер Ю. Атлас деревянных конструкций. М.: Стройиздат, 1985. 272 с.
10. Диткин В.А., Прудников А.П. Операционное исчисление. М.: Высшая школа, 1975. 408 с.
11. Рудобашта С.П. Теплотехника. М.: Колосс, 2010. 600 с.
12. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение. 2-е изд. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 272 с.

Not only qualitative adequacy of the developed mathematical model of thermal processes and algorithm of its implementation by the real physical phenomena is seen. The analysis of the calculation results and meteorological data (curve 2 of Fig. 1) shows their almost complete identity.

The results of the calculations at the stage of air cooling and mathematical model of moisture transfer in the wood of dowel connection will be presented in the next article of this series.

#### References

1. Fedosov S.V., Kotlov V.G., Aloyan R.M., Yasinski F.N., Bochkov M.V. Simulation of heat and mass transfer in the gas-solid system in dowel connection of wooden structures elements. Part.1. General physical and mathematical problem. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 7, pp. 86–91. (In Russian).
2. Lykov A.V., Mikhailov Yu.A. The theory of heat and mass transfer. Moscow – Leningrad: Gosenergoizdat. 1963, 536 p.
3. Kreith F., Manglik R.M., Bohn M.S. Principles of heat transfer. 7 edition. Cengage Learning. 2010. 784 p.
4. Incropera F., DeWitt D. Fundamentals of heat and mass transfer. 6 edition. New York: Wiley. 2007. 997 p.
5. Korn G., Korn T., Reference book in mathematics (for scientists and engineers). Moscow: Nauka. 1974. 832 p.
6. Fedosov S.V. Heat and mass transfer in technological processes in construction industry. Ivanovo: PresSto. 2010. 364 p.
7. Patent RF No. 1604945. Cl. E 04 B 1/49. *Soedinitel'nyi element dlya krepeleniya derevyannykh detalei* [Connecting element for fastening wooden parts]. Kotlov V.G., Stepanov N.N. Published 08.07.1990. Bulletin No. 4612756. 3 p. (In Russian).
8. Patent RF No. 127775. Cl. E 04 B 1/49. *Krepezhnyi element dlya soedineniya derevyannykh detalei* [Fixing element for connecting wooden parts]. Kotlov V.G., Sharynin B.E., Muratova S.S. Published 10.05.2013 Bulletin No. 13. 3 p. (In Russian).
9. Goetz K.-G., Hoor D., Mohler K., Natterer Yu. Atlas of wooden structures. Moscow: Stroizdat. 1985. 272 p.
10. Ditkin V.A., Prudnikov A.P. Operational calculus. Moscow: Vysshaya shkola. 1975. 408 p.
11. Rudobashta S.P. Heat engineering. Moscow: Publishing House «Koloss». 2010. 600 p.
12. Ugolev B.N. Wood science and forestry merchandising. 2 edition. Moscow: Publishing Center «Academy». 2006. 272 p.



г. Веймар (Германия)

**Институт строительных материалов им. Ф.А. Фингера (FIB) университета Bauhaus-Universität г. Веймар (Германия) организует 19-й Международный конгресс по строительным материалам**

# IBAUSIL

16–18 сентября 2015 г.

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

#### Основные темы конгресса:

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

Официальные языки конференции – немецкий, английский

Заявки об участии с докладами в конгресс принимаются до 1 ноября 2014 г.

Подробности Вы найдете на сайте: [www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)



А.А. САКОВИЧ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (aa\_sak@tut.by), Д.М. КУЗЬМЕНКОВ<sup>2</sup>, инженер

<sup>1</sup> Белорусский государственный технологический университет (220006, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова, 13а)

<sup>2</sup> Научно-исследовательское и проектно-производственное республиканское унитарное предприятие «Институт НИИСМ» (220014 Республика Беларусь, г. Минск, ул. Минина, 23)

## Получение из доломита и серной кислоты синтетического гипса и перекристаллизация его в $\alpha$ -CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O в растворе сульфата магния

Представлен анализ сырьевой базы для производства гипсовых вяжущих в Республике Беларусь. В связи с отсутствием в Беларуси природного сырья и трудностями технико-экономического характера переработки фосфогипса на гипсовое вяжущее, обоснована целесообразность и перспективность получения синтетического гипса из доломита путем его сернокислотного разложения с получением высококачественного CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O и раствора MgSO<sub>4</sub>. Наличие высококачественного доломита и недорогой серной кислоты дает возможность получения из них синтетического CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O и сульфата магния, используемого в качестве затворителя магнезиального цемента. Осуществляя структурно-управляемый синтез, разработаны параметры процесса, обеспечивающие получение целевого продукта требуемой морфологии. Оптимизированы значения концентрации H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, порядок сливания реагентов, температурно-временные параметры синтеза. Приведены технологические параметры процесса, обеспечивающие перекристаллизацию гипса в  $\alpha$ -CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O в 25%-м растворе сульфата магния с получением целевого продукта марки Г8 – Г10, пригодного как для строительного, так и для медицинского применения.

**Ключевые слова:** гипсовые вяжущие, синтетический гипс, доломит, сернокислотное разложение.

A.A. SAKOVICH<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (aa\_sak@tut.by), D.M. KUZ'MENKOV<sup>2</sup>, Engineer

<sup>1</sup> Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova Street, 220006, Minsk, Belarus)

<sup>2</sup> Research and Design and Production Republican Unitary Enterprise «Institute NIISM» (23, Minina Street, Minsk, 220014, Republic of Belarus)

### Producing of Synthetic Gypsum from Dolomite and Sulfuric Acid and Its Recrystallization in $\alpha$ -CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O in Magnesium Sulfate Solution

An analysis of the raw materials base for producing gypsum binders in the Republic of Belarus is presented. In connection with the absence of natural raw material in Belarus and difficulties of technical and economical character of phosphogypsum processing in gypsum binder the reasonability and prospectivity of producing the synthetic gypsum from dolomite by means of its sulfuric acid decomposition with obtaining of high quality CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O and MgSO<sub>4</sub> solution is substantiated. Availability of high quality dolomite and cheap sulfuric acid makes it possible to produce from them synthetic CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O and magnesium sulfate which is used for magnesia cement preparation. In the course of structurally controlled synthesis, parameters of the process ensuring the production of desired product of required morphology have been developed. Values of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrations, the order of reagents discharge, temperature-time parameters of the synthesis are optimized. Technological parameters of the process ensuring the recrystallization of gypsum into  $\alpha$ -CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O in 25% solution of magnesium sulfate with obtaining the desired product of G8–G10 mark suitable both for construction and medical application are presented.

**Keywords:** gypsum bonding, synthetic gypsum, dolomite, acid decomposition.

Гипсовые, как известно, по сравнению с другими видами минеральных вяжущих характеризуются значительно меньшими энергетическими затратами на производство. Однако из-за низкой стоимости энергоносителей в прежние времена этому важному достоинству не придавалось особого значения. Поэтому многие виды строительных материалов производились на основе портландцемента, энергоемкость которого примерно в пять раз выше по сравнению со строительным гипсом. Незначительная доля гипсового вяжущего в Республике Беларусь обусловлена отсутствием сырьевой базы.

Сырьем для производства строительного гипса мог бы служить природный гипс (Бриневское месторождение, Гомельская обл.), однако большая глубина залегающих его требует шахтного способа добычи и освоения его в ближайшей перспективе не предвидится. Вторым видом сырья может рассматриваться фосфогипс, являющийся отходом производства экстракционной фосфорной кислоты на ОАО «Гомельский химический завод» (ОАО «ГХЗ»), в отвалах которого уже накопилось свыше 20 млн т. К сожалению, до сих пор многочисленные усилия во многих странах, направленные на разработку конкурентоспособной технологии переработки фосфогипса на гипсовые вяжущие, не увенчались успехом [1–8]. Основная причина состоит в сложности технологического процесса, предусматривающего обезвреживание кислот и растворимых солей, содержащихся в

фосфогипсе, что удорожает производство и делает продукцию неконкурентоспособной [4, 5]. В последнее время ситуация еще больше осложнилась в связи с тем, что в качестве фосфатного сырья на ОАО «ГХЗ» стали применять африканские фосфориты, содержащие значительное количество минеральных примесей, переходящих в фосфогипс.

Исходя из изложенного представляется перспективной разработка третьего направления решения сырьевой проблемы для гипсовой промышленности. Оно состоит в серно-кислотном разложении доломита с получением дигидрата сульфата кальция и побочного продукта – сульфата магния в виде раствора или кристаллического эпсомита MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, который может быть использован в качестве компонента для производства сложносмешанных минеральных удобрений, а также в качестве затворителя магнезиального вяжущего – цемента Сореля.

Хорошей предпосылкой, обосновывающей целесообразность развития такого направления является по существу неограниченная сырьевая база доломита на ОАО «Доломит» (Витебская обл.) и относительно невысокая стоимость серной кислоты.

Ранее на кафедре «Химическая технология вяжущих материалов» были выполнены исследования по получению синтетического гипса из мела путем его сернокислотного разложения с целью получения супергипса для стоматологических целей [2, 3].

Таблица 1

Порядок осаднения	Параметры синтеза		Размер кристаллов	
	Концентрация кислоты, мас. %	Температура, °С	Длина, мкм	Ширина, мкм
Прямой (добавление серной кислоты к доломитовой суспензии)	28	70	11,7	7,4
	31	70	12	8,4
	33	70	14,9	9,2
Обратный (добавление в серную кислоту доломитовой суспензии)	28	70	10,9	6,7
	31	70	11,4	6,7
	33	70	14,6	9

Целью настоящей работы явилась разработка технологических параметров получения синтетического гипса, процесса его дегидратации в растворе сульфата магния. Для этого исследовалось влияние концентрации серной кислоты на выход целевого продукта, температуры разложения, порядка сливания реагентов (водной суспензии доломитовой муки и серной кислоты). Кроме того, исследовалась роль инициаторов кристаллизации, а также определялись параметры процесса фильтрации и сушки гипсового вяжущего.

Для исследования использовали доломитовую муку состава, мас. %: CaO – 30,1; MgO – 20,54; SiO<sub>2</sub> – 1,61; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,37; TiO<sub>2</sub> – 0,03; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,33 и техническую серную кислоту. С целью предотвращения сильного пенообразования вследствие выделения CO<sub>2</sub> разложение доломита вели в присутствии пеногасителя.

На качество осаждаемых кристаллов дигидрата сульфата кальция и прочностные характеристики вяжущего на его основе влияет порядок сливания исходных реагентов. В условиях, отдаленных от равновесия, разграничение процесса кристаллизации на две стадии – зарождение кристаллов и их рост считается в известной мере условным. При массовой кристаллизации обе стадии протекают одновременно, их невозможно разграничить во времени. Поэтому в данном эксперименте критериями оценки происходящих в маточном растворе кристаллизационных процессов принимались размер и форма осаждаемых кристаллов CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O. При этом для осаднения CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O использовалась кислота различной концентрации. Результаты изучения порядка осаднения исходных компонентов на размер осаждаемых кристаллов представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что при одинаковой температуре синтеза (70°С) применение способа сливания компонентов, предусматривающего добавление серной кислоты в доломитовую суспензию (прямой порядок), предпочтительнее, так как в большинстве случаев приводит к увеличению среднего размера осаждаемых кристаллов дигидрата сульфата кальция и, как следствие, обеспечивает повышение прочности вяжущего на его основе. Осуществление прямого порядка осаднения упрощает аппаратное оформление технологического процесса. Кроме того, с экологической и технико-экономической точек зрения целесообразно для приготовления доломитовой суспензии использовать воды, образующиеся после промывки осадка целевого продукта – α-CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O, а кислоту применять концентрированную. При этом водотвердое отношение в реакционной среде находилось в таких же пределах, как и в вышеописанных экспериментах, что обеспечивало безотходность технологии. Поэтому дальнейшие исследования по синтезу CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O проводились при прямом

Таблица 2

Вододоломитовое отношение	Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , мас. %		Предел прочности при сжатии вяжущего в 2-часовом возрасте, МПа
	подаваемой	фактической (с учетом воды доломитовой суспензии)	
1:1	50	40	4,3
	60	42	4
	70	45	3,2
	80	48	2,5
	90	50	2,3
2:1	50	27	5,4
	60	28	6,2
	70	31	6,3
	80	33	7
	90	35	5
3:1	50	21	4,5
	60	21,8	5,7
	70	23	6,4
	80	25	5,4
	90	26	4,9
4:1	50	17	2,3
	60	18	3
	70	19	3,2
	80	20	4
	90	21	4,1

смешении исходных компонентов (добавление раствора серной кислоты к доломитовой суспензии). При этом варьировалась концентрация H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и вододоломитовое отношение (табл. 2).

Данные табл. 2 показывают, что наибольшей прочностью обладает гипсовое вяжущее, полученное из CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, синтез которого осуществляли при вододоломитовом отношении, равном 3, и концентрацией H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 23%.

С целью интенсификации процесса перекристаллизации CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O в пульпу вводили затравочные кристаллы α-полугидрата сульфата кальция в количестве 3–5% от массы двухводного гипса. Получаемая суспензия, состоящая из твердой фазы, состав которой, по данным рентгенофазового анализа, состоит из α-полугидрата сульфата кальция, реликтового гипса, а также минеральных примесей, перешедших из доломита, подвергалась фильтрации. Полученный кек с влажностью 25% быстро сушился во избежание так называемого температурного провала.

Концентрация раствора сульфата магния, используемого в качестве жидкой среды, варьировалась в пределах от 10 до 25%. Величина верхнего концентрационного предела обусловлена таким значением концентрации маточника.

За функцию оптимизации на данном этапе исследований принимали прочностные характеристики получаемого гипсового вяжущего (табл. 3).

Из данных табл. 3 можно сделать вывод, что наибольшая прочность гипсового вяжущего достигается при концентрации раствора сульфата магния 25% и количестве затравочных кристаллов 5%.

Установление остальных параметров процесса получения высокопрочного гипсового вяжущего велось в маточном растворе сульфата магния 25%-й концентрации.

Таблица 3

Концентрация раствора сульфата магния, мас. %	В/Т	Предел прочности при сжатии вяжущего, МПа, при концентрации затравки $\alpha\text{-CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , мас. %			
		0	1,5	3	5
10	0,53	4,37	5,76	6,24	7,69
15	0,52	5,35	7,73	8,77	10,5
20	0,5	6,8	7,44	9	10,88
25	0,5	7,05	7,95	9,35	11,34

Таблица 4

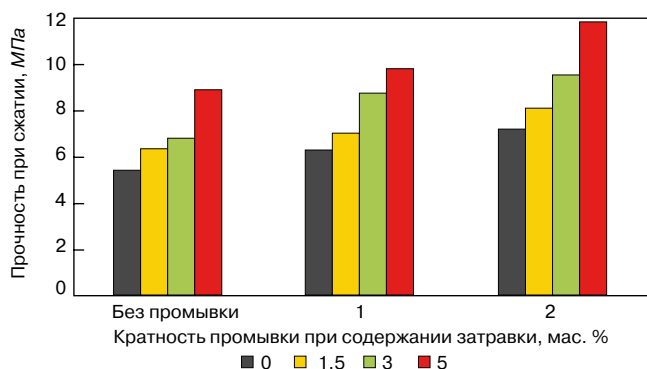
Время перекристаллизации, мин	Предел прочности при сжатии вяжущего, МПа, при концентрации кристаллической затравки $\alpha\text{-CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , мас. %			
	0	1,5	3	5
15	5,34	5,89	6,07	6,35
30	6,78	8,26	9,17	9,83
45	7	8,13	9,46	10,72
60	7,2	8,2	9,55	11,89

В табл. 4 представлены результаты исследования зависимости прочности гипсового вяжущего от времени варки (перекристаллизации), которое варьировалось в пределах 15–60 мин.

Экспериментально установлено, что с увеличением содержания затравочных кристаллов и времени перекристаллизации прочность растет. Однако если с увеличением времени с 15 до 30 мин и соответственно количества затравки прирост прочности увеличивается примерно на 40%, то с дальнейшим увеличением прирост их прочности существенно замедляется. Поскольку достигаемая при этом прочность является вполне достаточной для медицинского гипса, дальнейшее увеличение времени перекристаллизации с целью полной конверсии  $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в  $\alpha\text{-CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  по экономическим соображениям можно считать нецелесообразным.

Присутствие реликтового доломита и остаточного количества двуводного гипса не оказывает существенного влияния на качество медицинского гипса.

Получаемый в ходе перекристаллизации осадок  $\alpha\text{-CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  отделялся на фильтре и промывался свежей водой для удаления пленки раствора  $\text{MgSO}_4$  с поверхности кристаллов. Кратность промывки определяется не только прочностными показателями вяжущего, но и величиной его pH. Зависимость прочности гипсового вяжущего в зависимости от кратности промывки полученного на фильтре кека  $\alpha$ -полугидрата сульфата кальция представлена на рисунке.



Прочность гипсового вяжущего в зависимости от кратности его промывки

Таблица 5

Название параметра	Единицы измерения	Оптимальное значение
Количество затравочных кристаллов	%	5
Кратность промывки кека	–	2
Время перекристаллизации	мин	60
Концентрация раствора сульфата магния	%	25

Таблица 6

Наименование показателя	Строительный гипс (ГОСТ 125–79)	Медицинский гипс (ГОСТ 125–79)	Полученное гипсовое вяжущее
Марка вяжущего	Г2–Г7	Г2–Г13	Г8–Г10
Тонкость помола (остаток на сите с размерами ячеек в свету 0,2 мм), %, не более	23	14	8
Сроки схватывания, мин начало, не ранее конец, не позднее	2 15	2 15	2 10
Показатель pH водной суспензии, ед. pH	–	6,5–7,5	6–6,5

Видно, что наибольшая прочность достигается при двукратной промывке кека гипсового вяжущего, что связано с вымыванием из гипса сульфата магния, который негативно влияет на гидратационно-кристаллизационные процессы при затворении  $\alpha\text{-CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ .

Поскольку величина водородного показателя достигает требований ГОСТ 125–79, дальнейшее увеличение кратности промывки делать нецелесообразно по следующей причине. Трехкратная промывка хотя и обеспечивает незначительное увеличение прочности, при этом количество промывных вод увеличивается, что делает невозможным соблюдение замкнутого цикла по воде, которая, как было указано выше, используется для приготовления доломитовой суспензии.

На основании проведенных исследований установлены оптимальные параметры процесса получения гипсового вяжущего (табл. 5).

Приведенные в табл. 5 параметры процесса обеспечивают получение гипсового вяжущего, полностью удовлетворяющего требованиям действующих стандартов, что дает возможность использовать его не только для строительных целей, но и в качестве медицинского.

Гипсовые вяжущие характеризуются следующими свойствами: механическая прочность, сроки схватывания, тонкость помола, удельная поверхность, водопотребность, плотность, цвет и др. По ним можно оценить качество и область применения. Сравнительные характеристики свойств полученного гипсового вяжущего со стандартом представлены в табл. 6.

Разработанный технологический процесс планируется использовать при реализации крупного проекта по комплексной переработке доломита в доломитовую известь, магнезиальный цемент, синтетический гипс и вышеуказанные гипсовые вяжущие на его основе [2]. Данный проект осуществляется компанией «ОМА» на промплощадке ОАО «Доломит».

## Список литературы

1. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Промышленная переработка фосфогипса. Санкт-Петербург: Стройиздат СПб, 2007. 104 с.
2. Кузьменков М.И. Технология комплексной переработки доломита на минеральные вяжущие и технические продукты. *Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов: Материалы Международной научно-технической конференции.* Минск: БГТУ. 2012. Ч. 1. С. 6–11.
3. Кузьменков М.И., Стародубенко Н.Г., Марчик Е.В. Магнезиальный цемент из местного сырья. Концептуальные аспекты проблемы // *Труды Белорусского государственного технологического университета. Химия и технология неорганических веществ.* 2007. Вып. XV. С. 51–53.
4. Губская А.Г. Производство гипсового вяжущего и изделий из природного и техногенного сырья в Республике Беларусь // *Строительные материалы.* 2008. № 3. С. 73–75.
5. Михеенков М.А. Искусственный гипсовый камень на основе фосфогипса // *Цемент и его применение.* 2009. № 5. С. 81–82.
6. Клименко В.Г., Балахонов А.В. Рентгенофазовый анализ гипсового сырья различного генезиса и продуктов его термообработки // *Известия вузов. Строительство.* 2009. № 10. С. 26–31.
7. Кузьмина В.П. Механизмы воздействия нанодобавок на гипсовые продукты // *Нанотехнологии в строительстве.* 2012. № 3. С. 98–106.
8. Петропавловский К.С. Исследование характеристик дисперсности систем на основе двухводного гипса // *Вестник Тверского государственного технического университета.* 2010. № 16. С. 38–40.

## References

1. Meshcheryakov Yu.G., Fedorov S.V. Promyshlennaya pererabotka fosfogipsa [Industrial processing of phosphogypsum]. Saint Petersburg: Stroiizdat SPb. 2007. 104 p.
2. Kuz'menkov M.I. Technology of complex processing of dolomite into mineral binding materials and technical products. *Latest achievements in the field of import substitution in chemical industry and building materials production: materials: Materials. International scientific and technical conference.* Minsk: BSTU. 2012. Vol. 1, pp. 6–11. (In Russian).
3. Kuz'menkov M.I., Starodubenko N.G., Marchik E.V. Oxychloride cement from local raw material. Conceptual aspects of the problem. *Proceedings of the Belarusian State Technological University. Chemistry and technology of inorganic substances.* 2007. Vol. XV, pp. 51–53. (In Russian).
4. Gubskaya A.G. Production of gypsum binder and goods from natural and technogenic raw materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 3, pp. 73–75. (In Russian).
5. Mikheenkov M.A. Artificial gypsum rock based on phosphogypsum. *Tsement i ego primenenie.* 2009. No. 5, pp. 81–82. (In Russian).
6. Klimenko V.G., Balakhonov A.V. X-ray phase analysis of gypsum raw material of various genesis and products from its thermo processing. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo.* 2009. No. 10, pp. 26–31. (In Russian).
7. Kuz'mina, V.P. Influence mechanism of nanoagents on gypsum products. *Nanotekhnologii v stroitel'stve.* 2012. No. 3, pp. 98–106. (In Russian).
8. Petropavlovskii K.S. Investigation of system dispersibility characteristics on the basis of calcium sulfate dehydrate. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta.* 2010. No. 16, pp. 38–40. (In Russian).

**22 – 25 октября 2014, г. СОЧИ**

**SOCHI BUILD**  
XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ ФОРУМ

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ**

-  АРХИТЕКТУРА. СТРОИТЕЛЬСТВО. БЛАГОУСТРОЙСТВО
-  СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ОТДЕЛОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ
-  КЛИМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. ТЕПЛО-, ГАЗО-, ВОДОСНАБЖЕНИЕ
-  ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
-  СТРОЙСПЕЦТЕХНИКА. ДОРОГА. ТОННЕЛЬ
-  ДИЗАЙН ИНТЕРЬЕРА, ЭКСТЕРЬЕРА. ДЕКОР
-  ЗАГОРОДНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ. ЛАНДШАФТНЫЙ ДИЗАЙН
-  ЭКОЛОГИЯ. БЕЗОПАСНОСТЬ

При поддержке:  Официальный партнер: 

Информационные спонсоры: 

Выставочная компания «Сочи-Экспо ТПП г. Сочи»  
тел./факс: (862) 264-87-00, 264-23-33, 264-75-55, [www.sochi-expo.ru](http://www.sochi-expo.ru)

# 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 до 500 знаков на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

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

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