

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №5



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

МАЙ 2018 г.

(759)

PROGRESS GROUP



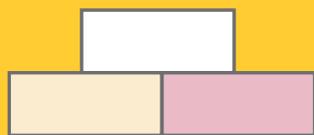
ГЛОБАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНДУСТРИИ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

- Автоматизированные индивидуальные линии циркуляции паллет
- Оборудование для производства арматурных элементов и сетки
- Кассетные формы, опрокидывающиеся столы, опалубочные системы
- Оборудование для преднапряженных элементов и тестовая линия
- Собственный завод стеновых панелей и перекрытий
- Программное обеспечение и комплексная система ERP

www.progress-group.info



СИЛИКАТЭКС



**XII Международная конференция
«Развитие производства силикатного кирпича»**

10–11 октября 2018

**Владимирская обл., г. Суздаль
ГТК «Суздаль»**



Программа работы:

10 октября – пленарное заседание

11 октября – посещение ЗАО «Ковровский завод силикатного кирпича»



Спонсор конференции:



Организатор конференции – журнал



Оргкомитет:

Руководитель проекта – Юмашев Алексей Борисович Менеджер проекта – Горегляд Светлана Юрьевна

Телефон/факс: (499) 976-22-08, 976-20-36, (916) 123-98-29

silikatex@bk.ru mail@rifsm.ru www.silikatex.ru www.rifsm.ru

**Адрес для корреспонденции: 127434, Москва, Дмитровское ш., д. 9, стр. 3,
редакция журнала «Строительные материалы»®**



Фирма «Маза» предлагает отдельные машины и участки производственных линий, а также установки «под ключ» для промышленного производства строительных материалов: мелкоформатных бетонных изделий, бордюрного камня, декоративных плит мощения, силикатного кирпича, газобетонных изделий.

Фирма «Маза» осуществляет разработку индивидуальных технических решений, проектирование, изготовление оборудования, его монтаж и ввод в эксплуатацию. Наш Клиент сможет оценить все преимущества работы с поставщиком, производителем и ответственным партнером в одном лице.

Masa GmbH
Masa-Str. 2
56626 Andernach
Germany
Phone +49 2632 9292 0
Service Hotline +49 2632 9292 88

Masa GmbH
Porta Westfalica
Osterkamp 2
32457 Porta Westfalica
Germany
Phone +49 5731 680 0

Маза-Москва
Ср. Тишинский пер., 28, офис 220
123557 РФ, Москва
Тел. +7 495 23251 27
Факс +7 495 23251 28
info@masa.ru

info@masa-group.com
service@masa-group.com
www.masa-group.com

Masa - made in Germany.

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№5

Основан в 1955 г.

(759) май 2018 г.

Учредитель журнала:
ООО Рекламно-издательская
фирма «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
Свидетельство о регистрации
ПИ №77-1989
Входит в Перечень ВАК,
государственный проект **РИНЦ,**
Russian Science Citation Index
на платформе Web of Science

Главный редактор:

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

Редакционный совет:

РЕСИН В.И.,
председатель, д-р экон. наук,
профессор, академик РААСН (Москва)
АСКАДСКИЙ А.А.,
д-р хим. наук, профессор (Москва)
БУРЬЯНОВ А.Ф.,
д-р техн. наук, директор Российской
гипсовой ассоциации (Москва)
БУТКЕВИЧ Г.Р.,
канд. техн. наук, член правления
Ассоциации «Недра» (Москва)
ВАЙСБЕРГ Л.А.,
д-р техн. наук, профессор,
академик РАН
(Санкт-Петербург)
ВЕРЕЩАГИН В.И.,
д-р техн. наук, профессор (Томск)
ГОРИН В.М.,
канд. техн. наук, президент Союза
производителей керамзита и
керамзитобетона (Самара)
ЖУРАВЛЕВ А.А.,
Президент Ассоциации «Недра» (Москва)
КОРОЛЕВ Е.В.,
д-р техн. наук, профессор (Москва)
КРИВЕНКО П.В.,
д-р техн. наук, профессор (Украина)
ЛЕОНОВИЧ С.Н.,
д-р техн. наук, профессор (Беларусь)
ЛЕСОВИК В.С.,
д-р техн. наук, профессор,
член-корреспондент РААСН (Белгород)
ОРЕШКИН Д.В.,
д-р техн. наук, профессор (Москва)
ПИЧУГИН А.П.,
д-р техн. наук, профессор
(Новосибирск)
ПУХАРЕНКО Ю.В.,
д-р техн. наук, профессор,
член-корреспондент РААСН
(Санкт-Петербург)
ФЕДОСОВ С.В.,
д-р техн. наук, профессор,
академик РААСН (Иваново)
ФИШЕР Х.-Б.,
доктор-инженер (Германия)
ХОЗИН В.Г.,
д-р техн. наук, профессор (Казань)
ЧЕРНЫШОВ Е.М.,
д-р техн. наук, профессор,
академик РААСН (Воронеж)
ШЛЕГЕЛЬ И.Ф.,
канд. техн. наук (Омск)
ШТАКЕЛЬБЕРГ Д.И.,
д-р техн. наук, профессор (Израиль)
ЯКОВЛЕВ Г.И.,
д-р техн. наук, профессор (Ижевск)

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
журнал «Строительные материалы»®, 2018

Материалы с ячеистой структурой

Н.П. САЖНЕВ

Производству и применению ячеистого бетона в Республике Беларусь 50 лет. 4

А.А. ПАК

Исследование сиштофа как активной минеральной добавки в ячеистом бетоне на техногенном сырье Кольского горнопромышленного комплекса. 11

А.Ю. СМИРНОВ, А.М. РУБЛЁВ, А.А. БАРАНОВ, М.В. АКУЛОВА

Повышение эффективности работы производства АГБ по ударной технологии на Егорьевском Заводе Строительных Материалов. 16

Г.В. КУЗНЕЦОВА, Н.Н. МОРОЗОВА, И.Д. ЮСУПОВ

Исследование влияния дисперсных добавок на свойства автоклавного газобетона. 20

В.Н. МОРГУН, Л.В. МОРГУН

Обоснование одного из методов совершенствования структуры пенобетонов. 24

А.А. КЕТОВ, В.С. КОРЗАНОВ, М.П. КРАСНОВСКИХ

Особенности химии газообразования при одностадийном синтезе пеностекла из карбоната и сульфата натрия. 27

Современные бетоны: наука и практика

Е.А. ЧИСТЯКОВ, С.А. ЗЕНИН, Р.Ш. ШАРИПОВ, О.В. КУДИНОВ

Армирование монолитных постнапряженных железобетонных конструкций, выполняемых без сцепления арматуры с бетоном. 32

Пять этажей производства сборных бетонных элементов (Информация). 38

В.С. ГРЫЗЛОВ, Д.В. ЗАВЬЯЛОВА

Отсев дробления шлакового щебня как эффективный компонент бетона. 40

Н.С. СОКОЛОВ

Один из подходов решения проблемы по увеличению несущей способности буровых свай. 44

И.Я. ХАРЧЕНКО, Д.А. БАЖЕНОВ

Эффективный самоуплотняющийся мелкозернистый бетон с компенсированной усадкой. 48

В.А. РАССУЛОВ, Р.А. ПЛАТОВА, Ю.Т. ПЛАТОВ

Контроль качества метакаолина методом спектроскопии в ближней инфракрасной области спектра. 53

Нормативная база отрасли

Л.Д. ШАХОВА, Р.А. КОТЛЯРОВ

Требования к нормальной густоте, водопотребности и водоотделению цементов для транспортного строительства. 57

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

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

Founder of the journal:
 «STROYMATERIALY»
 Advertising-Publishing Firm, OOO
 Registration certificate
 PI № 77–1989
 Included in the list of journals of
 the Higher Attestation Commission
 (Russia), Project Russian Science
 Citation Index (Russia), Russian
 Science Citation Index on the
 platform Web of Science

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROYMATERIALY®

№5

Founded in 1955 (759) May 2018

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

ASKADSKIY A.,
 Doctor of Sciences (Chemistry),
 Professor (Moscow)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Materials with Cellular Structure

I.P. SAZHNEV

Manufacturing and Using Cellular Concrete in the Republic of Belarus: 50 Years 4

A.A. PAK

Study of Si-stoff as a Mineral Additive to Cellular Concrete on Anthropogenic Raw Material of the Kola Mining Industrial Complex 11

A.Yu. SMIRNOV, A.M. RUBLEV, A.A. BARANOV, M.V. AKULOVA

Increase of Efficiency of Operation of Autoclaved Gas Concrete Production by the Shock Technology at Egorievsky Building Materials Factory 16

G.V. KUZNETSOVA, N.N. MOROZOVA, I.D. YUSUPOV

Research in Influence of Disperse Additives on Properties of Autoclaved Gas Concrete 20

V.N. MORGUN, L.V. MORGUN

Substantiation of One of the Methods for Improving the Structure of Foam Concretes 24

A.A. KETOV, V.S. KORZANOV, M.P. KRASNOVSKIKH

Peculiarities of Gas Formation in One-Stage Synthesis of Foamed Glass Using Sodium Carbonate and Sodium Sulfate 27

Modern concretes: science and practice

E.A. CHISTYAKOV, S.A. ZENIN, R.Sh. SHARIPOV, O.V. KUDINOV

Prestressing Unbonded Tendons for Cast In-Situ Post-Tensioned Reinforced Concrete Members 32

Five Stories of Production of Precast Concrete Elements (Information) 38

V.S. GRYZLOV, D.V. ZAVIALOVA

Screenings of Crushing of Broken Slag as an Efficient Component of Concrete 40

N.S. SOKOLOV

One of Approaches to Solve the Problem of Increasing the Bearing Capacity of Bored Piles 44

I.Ya. HARCENKO, D.A. BAJENOV

Efficient Self-Compacting Fine Concrete with Compensated Shrinkage 48

V.A. RASSULOV, R.A. PLATOVA, Yu.T. PLATOV

Quality Control of Metakaolin by the Method of Spectroscopy in the Near Infrared Region of the Spectrum 53

Normative base of the industry

L.D. SHAHOVA, R.A. KOTLIAROV

Requirements for Normal Consistency, Water Demand and Water Separation of Cements for Transport Construction 57

Строительные материалы № 5

А.В. КОЧЕТКОВ, С.Ю. АНДРОНОВ, Н.В. ЩЕГОЛЕВА, Ш.Н. ВАЛИЕВ, В.В. ТАЛАЛАЙ

Отраслевая система управления риском в техническом регулировании транспортного строительства 61

Результаты научных исследований

Т.Э. ХАЕВ, Е.В. ТКАЧ, Д.В. ОРЕШКИН

Облегченный упрочненный гипсовый камень для реставрации памятников архитектуры 68

А.М. ИБРАГИМОВ, А.В. ЛИПЕНИНА, Л.Ю. ГНЕДИНА

Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов.

Часть 2. Решение краевых задач теплопереноса 73

Stroitel'nye Materialy No. 5

A.V. KOCHETKOV, S.Yu. ANDRONOV, N.V. SHCHEGOLEVA, Sh.N. VALIEV, V.V. TALALAY

A Branch System of Risk Control in Technical Regulation of Transport Construct 61

Results of scientific research

T.Eh. HAEV, E.V. TKACH, D.V. ORESHKIN

Lightweight strengthened gypsum stone for restoration of architectural monuments 68

A.M. IBRAGIMOV, A.V. LIPENINA, L.Yu. GNEDINA

Design of the Blast Furnace Wall Structure Made of Efficient Materials.

Part 2. Solution of Boundary Problems of Heat Transfer 73

Конкурс научных статей ГИПС — результаты научных исследований, технологии производства, применение в строительстве



Научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы»[®] совместно с Российской гипсовой ассоциацией объявляют конкурс научных и научно-технических статей по гипсовой тематике.

В конкурсе принимают участие статьи, опубликованные в журнале «Строительные материалы»[®] в 2018 г. по теме:

1. Результаты научных исследований в области создания новых и оптимизации составов существующих гипсовых материалов в строительстве;
2. Технологии производства гипсовых материалов;
3. Техногенные гипсовые отходы и возможности их вовлечения в производство;
4. Применение гипсовых материалов в строительстве.

К участию в конкурсе приглашаются магистранты, аспиранты, докторанты, соискатели ученой степени кандидата и доктора наук.

Заявки на участие в конкурсе и рукописи статей необходимо представлять в редакцию журнала «Строительные материалы»[®] в соответствии с требованиями редакции (см. www.rifsm.ru в разделе «Авторам») в срок до 20 июля 2018 г.

В результате рассмотрения представленных рукописей статей и публикации их в журнале «Строительные материалы»[®] №8-2018 комиссия:

- определяет лучшие статьи и объявляет победителей конкурса;
- награждает победителей конкурса дипломами лауреата;
- награждает победителей годовой подпиской на журнал «Строительные материалы»[®] 2019 г.



Дополнительная информация доступна на сайтах www.rifsm.ru, www.rosgips.ru

Справки по тел.: **(499) 976-22-08, 976-20-36.**

Н.П. САЖНЕВ, канд. техн. наук, председатель оргкомитета МНПК «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения»

Республика Беларусь, 222321, Минская обл., Молодечненский р-н, п. Чисть

Производству и применению ячеистого бетона в Республике Беларусь 50 лет

Представлена история создания и становления производства ячеистого бетона в Республике Беларусь, а также важнейший процесс обмена знаниями, научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими разработками, архитектурно-планировочными, конструктивными и технологическими решениями проектов зданий из ячеистого бетона в ходе семинаров и научно-практических конференций за последние 26 лет. Показаны основные характеристики предприятий, производящих ячеистый бетон в настоящее время, наработанная за прошедшие годы нормативная документация, регламентирующая производство и применение ячеистого бетона в строительстве Республики Беларусь.

Ключевые слова: ячеистый бетон, автоклавная обработка, литьевая технология, ударная технология, блоки ячеисто-бетонные

Для цитирования: Сажнев Н.П. Производству и применению ячеистого бетона в Республике Беларусь 50 лет // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 4–10.

I.P. SAZHNEV, Candidate of Sciences (Engineering), Chairman of the Organizing Committee of the International Scientific and Practical Conference "Experience in Manufacturing and Using Cellular Autoclave-Hardened Concrete"
Chist settlement, Maladzyechna District, Minsk Oblast, 222321, Republic of Belarus

Manufacturing and Using Cellular Concrete in the Republic of Belarus: 50 Years

The article presents the history of creation and development of cellular concrete production in the Republic of Belarus as well as the most important process of exchange of knowledge, research and development results, architectural and planning, structural and technological solutions of designs of buildings made of cellular concrete in the course of seminars and scientific-practical conferences over the past 26 years. The main characteristics of the enterprises producing cellular concrete now, normative documentation developed during the past years and regulating the production and use of cellular concrete in the construction of the Republic of Belarus are shown.

Keywords: cellular concrete, autoclaved treatment, casting technology, impact technology, cellular concrete blocks.

For citation: Sazhnev N.P. Manufacturing and using cellular concrete in the republic of Belarus: 50 Years. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 4–10. (In Russian).

При наличии достаточной сырьевой базы (песок, известь, цемент, вода) и развитого производства, оснащенного современным технологическим оборудованием, ячеистый бетон автоклавного твердения является стратегическим строительным материалом в Республике Беларусь.

Начатое в 60-х гг. XX в. производство ячеистого бетона — одна из самых динамично развивающихся в стране подотраслей промышленности строительных материалов.

Вначале это были предприятия с невысокой производительностью и качеством готовой продукции. Низкая долговечность изделий, а также порой нерациональное их применение сдерживали развитие и дальнейшее наращивание производства ячеисто-бетонных изделий.

В 1968–1970 гг. в городах Гродно, Могилев и Сморгонь были введены в эксплуатацию новые заводы (комбинаты) по производству ячеисто-бетонных изделий по комплексной вибротехнологии. Это были первые в СССР заводы, на которых использовалось отечественное оборудование. В 1977–1980 гг. на этих предприятиях установлены резательные машины типа «Универсал-60», а в 1989–1991 гг. — линии «Силбетблок», разработанные институтом НИПИ силикатобетон (Таллин); в 1989–1990 гг. в городах Любань, Бобруйск и Орша — линии «Бобруйск-1,2».

В 1991 г. объем выпуска изделий из ячеистого бетона в Республике Беларусь составлял 1,7 млн м³ в год, в том числе 0,34 млн м³ армированных панелей для жилых, промышленных и общественных зданий.

Постановлением Совета Министров БССР, принятом в 1988 г., ставилась задача к 1995 г. достичь

3,5 млн м³ в год. В соответствии с этим велось проектирование и строительство ряда крупных мощностей по производству ячеисто-бетонных изделий. Кроме того, Постановлением Государственного комитета Республики Беларусь по архитектуре и строительству № 5 от 7 апреля 1992 г. было принято нормативное значение сопротивления теплопередаче для наружных стен не менее 2–2,5 м²·С/Вт и рекомендуемое 3,5–5 м²·С/Вт.

Все возрастающие объемы производства ячеистого бетона и новые повышенные требования к термическому сопротивлению наружных ограждающих конструкций зданий потребовали принципиально новых подходов к технологии производства ячеисто-бетонных изделий и их применению в строительстве.

Решению этого вопроса в значительной мере способствовал обмен опытом ведущих отечественных и зарубежных специалистов в области производства и применения изделий из ячеистого бетона, в частности проведение семинаров, конференций и профессиональных встреч.

Двадцать шесть лет назад в Минске при информационной поддержке журнала «Строительные материалы» 17–20 ноября 1992 г. была проведена конференция (семинар) «Дальнейшее развитие производства и применения в строительстве изделий из ячеистого бетона» [1, 2]. Ее организаторами выступили Минстройматериалов, Госстрой Республики Беларусь и Межреспубликанская ассоциация «Силикат». В состав ассоциации входили научно-исследовательские и проектные институты Республики Беларусь и Украины (НИИСМ, Белгипростром, Белавтоматстром, СПКО «Оргтехстром», АП «Белпроект» (Минск), Гипростроммашина (Киев) и др.),

машиностроительные предприятия (заводы «Ирмаш» (Брянск), ПО «Строймаш» (Минск)) и бело-русские заводы ячеистого бетона и силикатного кирпича.

Целью конференции стал обмен опытом, создание и освоение новых мощностей по производству изделий из ячеистого бетона и их применение в строительстве; разработка перспективных направлений развития производства; установление деловых контактов между специалистами и фирмами для реализации перспективных идей.

В работе профессионального форума приняли участие ученые, проектировщики, производственники и руководители отраслей стран СНГ и Прибалтики, Польши, Чехословакии, Германии, Республики Корея и др., обсудившие состояние и направления развития производства ячеисто-бетонных изделий как в Беларуси, так и в странах СНГ и Западной Европы.

Был зачитан ряд докладов по технологии производства ячеистого бетона и вяжущих материалов. Например, учеными ГАО «Силбет», НИПСи силикатобетон и МРА «Силикат» был представлен анализ технико-экономических показателей ячеистого бетона, изготовленного по литевой и ударной технологии [3]. На основании результатов широких экспериментальных исследований установлено, что ударная технология по сравнению с литевой позволяет уменьшить расход сырьевых материалов: цемента на 20–30%, извести на 10–15%. При этом время выдержки на посту созревания сократилось на 1–1,5 ч, а энергозатраты при помоле и автоклавной обработке уменьшились на 8–20% благодаря применению грубодисперсного кремнеземистого компонента и пониженного количества воды в массиве при его автоклавировании. Промышленные эксперименты по изготовлению крупных армированных ячеисто-бетонных изделий по ударной технологии показали, что помимо эффекта тиксотропного разжижения смеси происходит формирование околоарматурной зоны и обес-печение бестеневого обволакивания смеси вокруг арматурного каркаса. Это и обеспечивает полное сцепление арматуры с бетоном и повышает прочностных показателей армированных изделий.

Специалисты ГП НИИСМ ознакомили коллег с технологией производства извести мокрым способом во вращающихся печах, а также с использованием агрегатов скоростной термообработки, в которых материал обжигается во взвешенном состоянии, где мелкие частицы мела находятся всего несколько секунд, что исключает возможность пережога конечного продукта — извести.

Ученые МРА «Силикат» и ГП «НИИСМ» представили результаты лабораторных и натурных исследований фрагмента ячеисто-бетонной стеновой панели толщиной 300 мм и фрагментов кладки наружного стенового ограждения толщиной 300 мм из бетона плотностью 600 и 700 кг/м³, выполненных на клею с толщиной шва 2–3 мм, а также на растворе с толщиной шва 10–20 мм. Исследования показали, что на второй год влажность фрагментов оставалась постоянной, к концу третьего года влагосодержание фрагментов становилось постоянным и не превышало 4,5 мас. % [4]. На основании результатов замеров весовой влажности наружных стен жилых домов из ячеистого бетона в городах Гродно, Могилев и Сморгонь, а также вышеизложенных исследований в СНБ 2.01.01–93 «Строительная теплотехника» было внесено изменение № 1, предусматривающее для ячеистого бетона плотностью 300–700 кг/м³ величину эксплуатационной влажности для условий эксплуатации А и Б соответственно 4 и 5 мас. %.

Специалисты немецких фирм Hebel и Ytong сообщили о технологиях изготовления ячеистого бетона на раз-

личных видах вяжущих материалов, в том числе и армированных изделий с высокой геометрической точностью; фирмы Dorstener — об оборудовании для производства ячеистого бетона и силикатного кирпича.

Об отечественном оборудовании — формовочно-резательном комплексе типа «Конрекс 90/240» для производства ячеисто-бетонных изделий (конвейерная линия предлагалась для действующих и новых заводов с диаметром автоклавов 3,6 м) — шла речь в докладе представителей института «Гипростроммашина» (Киев). Специалисты ЦКБ «Мелиормаш» (Брянск) и РНТА «Силикат» (Киев) представили унифицированные конвейерные резательные комплексы «Конрекс 90/20–50» и «Конрекс 90/60–120». Конвейерные линии предлагались для заводов ячеистого бетона с диаметром автоклавов 2 м. На всех линиях «Конрекс» принята комплексная ударная технология (динамические воздействия на ячеисто-бетонную смесь при перемешивании) с формованием массива высотой 900 см.

У архитекторов Беларуси к этому времени также были интересные решения и наработки по применению материала. Например, АП «Белпроект» представил прогрессивные проекты и решения применения ячеистого бетона, где указывалось на комплексное применение армированных изделий (стенных панелей, плит перекрытий и перегородок) в гражданских и промышленных зданиях [5]. Комплексное применение ячеисто-бетонных изделий обеспечивало ежегодно строительство в Республике Беларусь только жилых зданий общей площадью 400–500 тыс. м².

В докладе института БелНИИгипросельстрой «Архитектурные и конструкционные особенности применения ячеистых бетонов в малоэтажном строительстве Республики Беларусь» впервые было предложено строительство энергоэффективных зданий за счет применения в наружных стенах ячеистого бетона с различными плотностями. Областные институты (Гродногражданпроект, Минскгражданпроект и др.) также представили интересные примеры применения ячеистого бетона в проектах зданий с различными архитектурно-планировочными, конструктивными и технологическими решениями.

Участники конференции посетили ПО «Сморгонь-силикатобетон», где ознакомились с производством ячеистого бетона по ударной технологии с формованием массивов высотой 900 мм на линиях типа «Силбетблок» и формованием массивов высотой 1200 мм на конвейерной линии типа «Бобруйск-1,2» на Бобруйском КСМ.

Следует отметить, что линии типа «Силбетблок» до настоящего времени успешно эксплуатируются на ряде заводов Республики Беларусь — Могилевском комбинате силикатных изделий, Сморгонь-силикатобетоне, Гродненском комбинате строительных материалов и др.

Несмотря на резкое уменьшение объемов производства блоков и практически полное прекращение производства армированных изделий из ячеистого бетона, в Республике Беларусь постепенно накапливались опыт и, естественно, проблемы в производстве и особенно в применении ячеистого бетона.

В 2000 г. годовой объем производства ячеистого бетона составил около 1 млн м³. И это при том, что в 1997 г. был введен в промышленную эксплуатацию новый завод в ОАО «Забудова». «Завод строительных конструкций» («ЗСК») на оборудовании и по литевой технологии немецкой фирмы Hebel (XELLA) производит полный комплект строительных изделий для домов из ячеистого бетона: стеновые блоки, армированные панели наружных и внутренних стен, плиты перекрытия и покрытия, брусковые несущие перемычки, лотковые

блоки для несущих перемычек, арочные перемычки и лестничные ступени.

На новые изделия из ячеистого бетона практически отсутствовали стандарты и правила их применения. Например, по ГОСТ 25485–89 «Бетоны ячеистые. Технические условия» влажность бетона, изготовленного с применением песка, должна была составлять не более 25 мас. %. Для ячеистого бетона, изготовленного по литевой технологии, это нереально. При литевой технологии В/Т в зависимости от плотности бетона составляет 0,6–0,7 (60–70% воды), следовательно, послеавтоклавная влажность бетона составляет половину В/Т.

Требования ГОСТ 19570–73 «Панели из автоклавного ячеистого бетона для внутренних несущих стен, перегородок и перекрытий жилых и общественных зданий» исключили применение новых армированных изделий.

Отсутствовала нормативная база по расчету кладки ячеисто-бетонных блоков на клею, исследования по огнестойкости изгибаемых изделий из ячеистого бетона – плит перекрытия и покрытия и брусовых перемычек и ряд других вопросов по производству и применению ячеисто-бетонных армированных изделий.

По заявке ОАО «Забудова» и заданию Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь РУП «Институт БелНИИС» начало исследования:

- деформативно-прочностных показателей кладки блоков на легких и тонкослойном (клею) растворах;
- деформационно-прочностных показателей ячеисто-бетонных армированных изгибаемых элементов; работы ячеисто-бетонных плит перекрытий со стенами;
- теплотехнических показателей ограждающих конструкций (стен) кладки на легких и тонкослойных растворах, в том числе армированных растворов швов.

Результаты проведенных исследований были использованы, например, для изменений в СНиП II-22–81 «Каменные и армокаменные конструкции» СНБ 2.04.01–97 (далее – ТКП 45-2.04-43–2006) «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» и при разработке всей последующей нормативно-технической и проектной документации на изделия и их применение в малоэтажном и многоэтажном строительстве, в том числе каркасных зданий различного назначения.

Одновременно с огромным комплексом научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по технологии производства и применения ячеистого бетона, проводимых РУП «Институт БелНИИС», ГП «НИИСМ», Белорусский государственный технологический университет, ИТЦ ОАО «Забудова» и Белорусский национальный технический университет и др. велось экспериментальное строительство. Одним из первых был опыт комплексного применения армированных и неармированных изделий из ячеистого бетона при строительстве в Минске двух коттеджных поселков – Большая Слепянка (проект ОАО «Институт «Минскгражданпроект»), по проспекту Газеты Известия (Мастерская архитектора Чадовича), а также нового микрорайона жилой застройки (до пяти этажей) в п. Чисть Молодечненского района (проект конструкторского бюро ОАО «Забудова»).

Необходимо было в кратчайшие сроки продемонстрировать новые возможности ячеисто-бетонных конструкций при строительстве теплого и комфортабельного жилого дома и доказать их преимущество. В жилых домах были запроектированы мансардные этажи. Ограничение мансардного пространства плитами перекрытия и покрытия из ячеистого бетона повысило степень огнестойкости домов и сократило противопожарные разрывы.

Повышение несущей способности перекрытия и покрытия обеспечивалось устройством армированных монолитных обвязочных контуров и укладкой в швы

между плитами отдельных арматурных стержней, которые заводились в обвязочный контур. Методика расчета такого перекрытия и покрытия была разработана РУП «Институт БелНИИС» и проверена натурными испытаниями на строящихся домах. Наружные стены выполнены на клею из ячеисто-бетонных блоков плотностью 500 кг/м³, толщиной 375 мм. Внутренние стены выполнены также из ячеисто-бетонных блоков. Перемычки над оконными и дверными проемами выполнены из брусовых перемычек и U-образных (лотковых) блоков.

Большая помощь в экспериментальном строительстве была оказана фирмой Hebel – обучение, консультации, проекты домов и др.

При проектировании жилых коттеджных домов остро встал вопрос огнестойкости армированных плит перекрытия. В 1997 г. во Всероссийском научно-исследовательском институте противопожарной обороны МВД РФ (ВНИИ ПО МВД РФ) по ГОСТ 30247.1–94 были проведены огневые испытания плит перекрытия размером 6×0,6×0,25 м, класса бетона по прочности при сжатии В3,5 и средней плотности бетона 700 кг/м³. В ходе испытаний в течение 70 мин нагревания плит до 1000°C ни одного из предельных состояний достигнуто не было. Согласно ГОСТ 30247.0–94 предел огнестойкости плит составил не менее 70 мин, что соответствует REI 60.

Проведенные в ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь» огневые испытания фрагментов стен и перегородок из ячеистого бетона показали, что блоки из ячеистого бетона могут применяться для устройства стен и перегородок в зданиях всех степеней огнестойкости согласно классификации ТКП 45-2.02.142–2011 «Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации», а также для противопожарных перегородок 1-го типа с пределом огнестойкости REI 150 (2,5 ч по всем критериям достижения предельного состояния).

Ячеистый бетон обладает уникальным свойством – повышением прочности при нагревании. Исследования, проведенные в Шведском техническом университете и Финском техническом исследовательском центре, показали, что при повышении температуры до 400°C прочность ячеистого бетона увеличивается на 85%, а усадка бетона остается практически без изменения при повышении температуры до 700°C [6]. Исследованиями по огнестойкости и огнесохранности сжатых конструкций из ячеистого бетона в Республике Беларусь выявлено, что прочность и предельные относительные деформации сжатия газобетона в диапазоне температуры от 168±35 до 582±25°C изменяются незначительно и с точностью ±15% могут быть обобщены. Для диапазона температуры 782±32 до 974±47°C характерно существенное снижение прочности и увеличение предельных деформаций сжатия, связанное с дегидратацией тоберморита и кристаллизацией волластонита [7]. Это особенно важно для перегородок, которые в первую очередь разрушаются при пожаре, исключая или затрудняя эвакуацию людей. При выборе материала для перегородок, по всей видимости, особое внимание следует обращать на огнестойкость материала, а не на звукоизоляцию. Например, при одной и той же толщине перегородки из кирпича или ячеистого бетона последний уступает по звукоизоляции, но значительно превосходит по огнестойкости и огнесохранности. И не случайно в небоскребе в г. Куала-Лумпур (Малайзия) перегородки выложены из ячеистого бетона.

Накопленный опыт применения ячеистого бетона в малоэтажном строительстве позволил приступить к ис-

пользованию этого материала в каркасных многоэтажных зданиях, в том числе и высотных. Например, по ул. Тимошенко в Минске построены три 9-этажных дома с различными каркасными системами и наружными стенами из ячеистого бетона, поэтажно опертыми на плиты перекрытия или ригеля каркаса: однослойная стена из блоков плотностью 400 кг/м^3 с кладкой на клею (проект РУП «Институт БелНИИС»); однослойная стена из блоков плотностью 500 кг/м^3 (проект ГП «Институт НИПТИС им. С.С. Атаева»), а также трехслойная с колодезной кладкой из бетона плотностью 600 кг/м^3 (проект АП «Белпроект»). Межквартирные и межкомнатные перегородки выполнены также из ячеисто-бетонных блоков.

Сравнительная технико-экономическая оценка проектов домов показала, что наружные однослойные стены из ячеистого бетона плотностью 400 кг/м^3 с кладкой на клею, опертые на край диска перекрытия, являются наиболее рациональным решением.

Экспериментальное проектирование наружных поэтажно опертых стен каркасных зданий, выполнявшееся в РУП «Институт БелНИИС», постоянно сопровождалось всесторонней научно-технической поддержкой, что позволило уже на этапе разработки проектной документации избежать целого ряда ошибок, приводящих порой к резкому ухудшению эксплуатационных показателей стеновых конструкций.

Наряду с этим в Республике Беларусь институтами ОАО «Институт «Минскгражданпроект»», УП «Институт Гродногражданпроект» и другими региональными институтами продолжалось проектирование и строительство целого ряда различных зданий из ячеистого бетона.

В настоящее время трудно представить строительство в Республике Беларусь без применения ячеистого бетона. Это жилые поселки, агрогородки, гостиницы, торгово-развлекательные центры, ледовые дворцы, спортивные арены, высотные жилые комплексы, Национальная библиотека Республики Беларусь – вот далеко не полный перечень проектируемых и построенных объектов.

В 1997 г. РУП «Институт БелНИИС» совместно с ОАО «Забудова» разработан альбом «Узлы и детали наружного утепления существующих зданий с применением продукции ОАО «Забудова» и после практической апробации утепления различных зданий с 2005 г. введено в действие Пособие П8-04 к СНиП 3.03.01–87 «Проектирование и устройство тепловой изоляции наружных стен зданий и сооружений с применением изделий из ячеистого бетона».

Подробно исследования деформативно-прочностных и теплотехнических показателей кладки и армированных изделий из автоклавного ячеистого бетона, основные положения по проектированию несущих и ограждающих конструкций, опыт применения ячеистого бетона в гражданском строительстве и разработки нормативно-технической документации, а также физико-механические свойства ячеистого бетона изложены в книге «Применение ячеисто-бетонных изделий. Теория и практика» [6].

Изданные в нашей стране книги «Производство ячеисто-бетонных изделий. Теория и практика» (три издания [8, 9, 10]), «Производство ячеисто-бетонных изделий автоклавного твердения. Пособие» [11], «Применение ячеисто-бетонных изделий. Теория и практика» [6] и «Как построить индивидуальный дом из ячеистого бетона» [12] оказали существенную роль в деле производства и применения ячеистого бетона как в Беларуси, так и за рубежом.

В настоящее время в Республике Беларусь разработан полный комплект нормативно-технической доку-

ментации, гармонизированной с европейскими нормами и регламентирующей современные правила их изготовления и применения: ТКП 45-5.03-307–2017 «Изделия сборные бетонные и железобетонные. Основные требования к изготовлению» и пособия к ТКП, СТБ 1570-2005 «Бетоны ячеистые. Технические условия», СТБ 1117–98 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия», СТБ EN 771-4–2014 «Требования к изделиям для каменной кладки. Часть 4. Изделия из ячеистого бетона автоклавного твердения», СТБ 1332–2002 «Блоки лотковые и перемычки из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия», СТБ 1330–2002 «Ступени лестничные из автоклавного ячеистого бетона. Технические условия», СТБ 1724–2007 «Утеплитель дробленый из ячеистых бетонов. Технические условия», СТБ 1034–96 «Плиты теплоизоляционные из ячеистых бетонов», СТБ 1989–2009 «Плиты перекрытий и покрытий, панели для внутренних стен и перегородок из ячеистого бетона автоклавного твердения. Технические условия», СТБ 1185–99 «Панели стеновые наружные бетонные и железобетонные для зданий и сооружений. Технические условия».

Для проектирования конструкций зданий с применением ячеисто-бетонных изделий разработаны ТКП EN 1992-1-1–2009 (02250) Еврокод 2 «Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1–1. Общие правила и правила для зданий», СТБ EN 12602–2011 «Изделия железобетонные заводского изготовления из автоклавного ячеистого бетона», узлов и деталей – Серия Б2.000-3.07 [13], Серия Б2.030-13.10 [14] и Рекомендации по проектированию [15].

Учитывая высокую технико-экономическую эффективность изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения по сравнению с другими строительными материалами аналогичного функционального назначения, Основными направлениями развития материально-технической базы строительства Республики Беларусь на период 1998–2015 гг. ячеисто-бетонные изделия определены главным стеновым материалом, и в 2015 г. потребность в нем должна была составлять 3,14 млн м^3 .

Вновь встал на повестку дня обмен опытом ведущих ученых и специалистов в области производства и применения изделий из ячеистого бетона.

После десятилетнего перерыва 29–30 мая 2002 г. в Минске и п. Чисть (ОАО «Забудова») проведена вторая международная конференция (семинар) «Научно-технические проблемы ячеистого бетона автоклавного твердения», в которой приняли участие более 120 специалистов из Германии, Беларуси, Эстонии, Литвы, Латвии, Украины и России. Наиболее представительной была делегация из Российской Федерации, состоявшая из 14 человек.

На конференции были представлены доклады научно-исследовательских и проектных белорусских и российских институтов (БелНИИС, НИИЖБ, ЦНИИЭП жилища, НИИСМ, Минскгражданпроект, Белпроект), доклады ведущих заводов ячеистого бетона (Могилевский КСИ, Гродненский КСМ, Минский КСИ и др.).

Участники конференции осмотрели коттеджный поселок (малоэтажная застройка) Большая Слепянка в Минске, микрорайон жилой многоэтажной застройки и жилые дома, утепленные ячеистым бетоном, в п. Чисть и другие объекты. В ОАО «Забудова» ознакомились с технологией производства ячеистого бетона, в том числе армированных изделий по технологии фирмы Hebel (XELLA), а на «Минском КСИ» – с работой технологической линии формирования и резки ячеисто-бетонных массивов на отечественной линии «Конрекс 90/20-50».

В ходе обмена мнениями и принятия рекомендаций по улучшению технологии производства и применения ячеистого бетона представители российской, украинской и эстонской делегаций заявили о намерении участвовать в очередной конференции. Таким образом, начиная с 2002 г. последовательно через каждые два года в Республике Беларусь собираются исследователи, специалисты и практики газобетонной отрасли, производители и поставщики оборудования для заводов, а также программных продуктов, упаковочных технологий — все, кто отдает свои силы и знания делу совершенствования ячеистого бетона.

Профессиональные форумы в разные годы состоялись в городах Гродно, Могилев, Брест, Минск, Сморгонь, п. Чисть. Их участники и гости ознакомились с производством ячеисто-бетонных изделий на передовых предприятиях Республики Беларусь: ОАО «УКХ «Забудова», ЗАО «Могилевский КСИ», ОАО «Сморгонь-силикатобетон», ОАО «Гродненский КСМ», ОАО «Минский КСИ» и ЗАО «КварцМелПром». Представлено и опубликовано более 180 докладов на различные темы: сырьевые материалы для производства ячеистого бетона; технологии производства (ударная и литьевая); оборудование; основные свойства и применение, рынки сбыта готовой продукции и другие доклады.

В конференциях активное участие принимали фирмы по поставке оборудования для производства ячеистого бетона MASA, HESS, WKB, WEHRHANN (Германия), Aircrete (Нидерланды), Тяжмехпресс (Воронеж, Россия).

В 2018 г. проводится десятая юбилейная конференция. Международные встречи ценны тем, что позволяют не только проанализировать профессиональный опыт и наработки, обсудить вопросы практического применения материала, но и представить будущее развитие газобетонной отрасли. В дискуссиях и спорах специалистов высвечиваются достоинства и недостатки материала, что дает возможность достаточно уверенно вычерчивать траекторию его последующего совершенствования, консолидировать и мобилизовать усилия всех заинтересованных участников перед новыми вызовами рынка.

После ввода в 1997 г. в промышленную эксплуатацию завода ячеистого бетона фирмы Hebel (п. Чисть) и появления на стройках изделий нового качества, например отклонения геометрических размеров армированных и неармированных изделий $\pm 1,5$ мм (кладка на клею), на действующих заводах началась модернизация и реконструкция, а также строительство новых заводов. При этом на действующих заводах были модернизированы помольно-сырьевые и автоклавные отделения. Новые линии вобрали в себя как передовые зарубежные технологии (резка массива с предварительным кантованием на 90° и автоматическая упаковка готовой продукции), так и лучшие достижения отечественной ударной технологии.

В результате объединения технологий изделия из ячеистого бетона по некоторым показателям превосходят европейские аналоги. Например, отпускная влажность ячеистого бетона составляет 25%, а блоков, изготовленных по классической литьевой технологии, — 35%.

В 2004 г. на Могилевском комбинате силикатных изделий после реконструкции одной из действующих технологических линий введена в промышленную эксплуатацию новая линия по производству ячеисто-бетонных изделий, в которой объединена отечественная ударная технология и резательная технология фирмы MASA. Годовая производительность линии — 120 тыс. м^3 (в цеху установлено три автоклава диаметром 3,6 м). Модернизированы также оборудование и системы автоматического управления технологическими процессами в помольном, смесеприготовительном, формовочном,

автоклавном отделениях. В 2010 г. на комбинате введена в промышленную эксплуатацию еще одна (вторая) новая технологическая линия по производству ячеисто-бетонных блоков производительностью 300 тыс. м^3 в год. Основное технологическое оборудование (смесеприготовительное, формовочное, резательное и др.) поставлено фирмой MASA.

В 2005 г. реконструкции подверглось производство ячеистого бетона в ОАО «Сморгонь-силикатобетон», где также были объединены две технологии — отечественная ударная и немецкая резательная фирмы MASA. Производительность линии — 1000 м^3 изделий в сутки. Из отечественного технологического оборудования было оставлено только помольное — мельницы мокрого помола песчаного шлама и сухого помола известково-песчаного вяжущего, а также восемь автоклавов диаметром 3,6 м.

В 2005 г. в ОАО «Любанский завод стеновых блоков» проведена модернизация одной из технологических линий по производству ячеисто-бетонных блоков типа «Бобруйск-1,2» — установлен комплект резательных машин Воронежского предприятия Тяжмехпресс.

В 2006 г. в ОАО «Гродненский комбинат строительных материалов» введена в эксплуатацию новая линия по производству ячеисто-бетонных блоков WERNHANN SMART мощностью 120 тыс. м^3 в год с разрезкой массивов на мелкие ячеисто-бетонные блоки. Фирмой WERNHANN поставлены комплект резательных машин, формы, смесеприготовительное, дозировочное и транспортное оборудование применительно к тупиковым автоклавам диаметром 3,6 м. Помольное и автоклавное отделения (три автоклава диаметром 3,6 м), а также ударные площадки (две) использованы существующие.

В 2009 г. ОАО «Березовский комбинат силикатных изделий» (Брестская обл.) пущен завод по изготовлению ячеисто-бетонных изделий (мелкие блоки, лотковые блоки) с суточной производительностью 1200 м^3 . Все технологическое оборудование поставлено фирмой MASA.

В 2009 г. на Минском КСИ сдан в эксплуатацию цех по изготовлению ячеисто-бетонных блоков суточной производительностью 1450 м^3 . Основное технологическое оборудование поставлено фирмой MASA, автоклавы — фирмой «Уралхиммаш» (Екатеринбург). Завод работает по ударной технологии.

В 2009 г. в ОАО «Оршастройматериалы» (г. Орша, Витебская обл.) сдан в промышленную эксплуатацию комплект резательного оборудования компании Тяжмехпресс. Суточная производительность линии — 550 м^3 мелких блоков. Завод работает по литьевой технологии.

За период с 2001 по 2012 г. в ОАО «Управляющая компания холдинга «Забудова» за счет модернизации производства, в частности установки дополнительных пяти автоклавов фирмы SCHOLZ, второй автоматической линии упаковки блоков, годовая производительность увеличилась с 200 до 400 тыс. м^3 изделий.

С целью ориентации на производство профилированных армированных изделий, в том числе и на тонкостенные конструкции, в 2012 г. ОАО «Управляющая компания холдинга «Забудова» совместно с голландской фирмой Aircrete провела модернизацию резательного комплекса Hebel.

Наряду с модернизацией действующих заводов в 2009–2013 гг. построены новые заводы ячеистого бетона.

В 2009 г. в ОАО «Красносельскстройматериалы» (Гродненская обл.) введен в промышленную эксплуатацию цех по выпуску ячеисто-бетонных изделий с суточной производительностью 650 м^3 . Основное технологическое оборудование поставлено фирмой MASA, авто-

клавы — российской фирмой «Уралхиммаш». Завод работает по ударной технологии.

В 2009 г. ООО «Газосиликат» (Могилевская обл., д. Затишье) освоило производство мелких ячеисто-бетонных блоков. Основное технологическое оборудование изготовлено китайской фирмой SHANJZHOU TEEYER ENGINEERING MACHINERY. Суточная производительность линии 1000 м³.

В 2012 г. в ОАО «Гомельстройматериалы» сдана в промышленную эксплуатацию технологическая линия CL-4 фирмы WKB. Годовая производительность линии — 180 тыс. м³. В настоящее время действует одна линия «Универсал-60» и линия CL-4. Завод работает по ударной технологии.

В 2012 г. СЗАО «КварцМелПром» (п. Хотиславль, Брестская обл.) введен в эксплуатацию новый завод по изготовлению ячеистого бетона суточной производительностью 1450 м³. Все технологическое оборудование поставлено фирмой MASA. Завод работает по ударной технологии.

Оценивая обширный объем работ по производству и применению ячеистого бетона в Республике Беларусь, следует упомянуть о сопутствующей продукции, в первую очередь о современных эффективных составах смесей для нанесения на ограждающие конструкции зданий различных защитно-декоративных покрытий, многие из которых разработаны РУП «Институт БелНИИС» и заводами-изготовителями сухих строительных смесей. Накоплен практический опыт по причинам, вызывающим разрушение защитно-декоративных покрытий. Поэтому ряд требований стандартов (СТБ 1307–2012, ТКП 45-1.03-311–2018 и ТКП 45-2.04-43–2006) следует уточнить и дополнить, особенно с учетом опыта мирового лидера по производству и применению ячеистого бетона фирмы XELLA и YTONG и рекомендаций немецких специалистов по изготовлению и нанесению защитно-отделочных покрытий [16].

Для ячеисто-бетонных конструкций стен зданий с повышенными влаго- и паропроницаемостью, невысокой прочностью при сжатии и растяжении, низкими модулем упругости и морозостойкостью и высоким водопоглощением необходимы повышенные требования к защитно-декоративным покрытиям. При этом покрытия должны выполнять не только декоративную функцию, но и защитную — обладать низким водопоглощением, высокой паропроницаемостью, достаточной адгезией к основанию, морозо- и атмосферостойкостью, а также стойкостью к термовлажностным и термоциклическим нагрузкам. Необходимо, чтобы теплопроводность покрытий, средняя плотность и прочность на сжатие и растяжение были сопоставимы с физико-техническими характеристиками ячеистого бетона. При несоблюдении этих требований в зоне контакта покрытия с основанием (ячеистым бетоном) неизбежно возникнут напряжения, приводящие к растрескиванию покрытия и его порой быстрому разрушению [10]. Ячеистый бетон дополнительно увлажняется и при косых дождях; из-за попеременного замораживания и оттаивания бетон разрушается, что в конечном итоге сказывается на надежности и долговечности самого здания.

Как уже отмечалось выше, разработан ряд нормативно-технической документации по применению яче-

исто-бетонных блоков в строительстве жилых зданий [13, 14, 15]. Однако принятые в проектной документации технические решения порой не в полной мере учитывают специфические физико-механические свойства ячеистого бетона, которые не обеспечивают сопротивляемость несущих и ограждающих конструкций жилых зданий неблагоприятным внешним воздействиям, обусловленным эксплуатационными, техническими и климатическими факторами. Кроме того, наблюдается нарушение технологии строительства и правил содержания зданий [17]. По указанным выше причинам на ряде зданий необходимо проводить ремонтно-восстановительные работы, что отрицательно сказывается на имидже ячеистого бетона. По-видимому, целесообразно внести уточнения и дополнения в нормативно-техническую документацию и корректировку в проекты зданий.

Накопленный опыт эксплуатации наружных стен из ячеистого бетона, в первую очередь каркасных зданий, позволил уточнить некоторые конструктивные решения узлов и деталей стен, усовершенствовать и сделать их надежными и внести соответствующие корректировки в документацию.

В заключение следует отметить, что, несмотря на огромный объем производства ячеистого бетона, доля армированных изделий ничтожно мала.

Еще на заре производства ячеистого бетона, примерно сто лет тому назад, из этого материала изготавливались в основном армированные изделия — плиты покрытия для утепления кровель зданий. Как отмечалось выше, в Республике Беларусь до распада Советского Союза ежегодно из армированных ячеисто-бетонных изделий строилось только жилых домов 400–450 тыс. м², кроме того армированные изделия широко применялись при строительстве промышленных и общественных зданий. Все здания, построенные с применением армированных ячеисто-бетонных изделий, обладают высокой степенью надежности и долговечности.

В ходе V международной конференции «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения», прошедшей в 2011 г., отмечалась тенденция на снижение плотности ячеисто-бетонных изделий и производство в заводских условиях сборных крупноформатных стеновых панелей для индустриального домостроения [17].

Для развития производства и применения крупноформатных армированных стеновых панелей и другой номенклатуры изделий в Республике Беларусь имеется необходимая нормативная база, а также наработаны технические решения эффективных ограждающих конструкций зданий, базирующихся на результатах отечественных и зарубежных исследований прошлого и начала текущего столетия.

Совместная постоянная творческая работа производителей ячеистого бетона, научно-исследовательских и проектных институтов и строительных организаций позволит избежать возможных ошибок, оперативно решать возникающие технические и организационные вопросы, а также сократить сроки для достижения поставленной цели — эффективного производства и комплексного применения армированных ячеисто-бетонных изделий. Это залог индустриального энергоэффективного жилья с высокими потребительскими качествами.

Список литературы

1. Мойсеевич А.Ф., Бильдюкевич В.Л., Сажнев Н.П. Производство ячеисто-бетонных изделий в Республике Беларусь // *Строительные материалы*. 1992. № 9. С. 2–5.

References

1. Moyseevich A.F., Bilydukevich V.L., Sazhnev N.P. Production of cellular and concrete products in Respubliye Belarus. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1992. No. 9, pp. 2–5. (In Russian).

2. Бильдюкевич В.Л., Сажнев Н.П., Бородовский Ю.Д., Состояние и основные направления развития производства ячеисто-бетонных изделий в СНГ и за рубежом // *Строительные материалы*. 1992. № 9. С. 5–8.
3. Сажнев Н.П., Домбровский А.В., Новаков Ю.Я., Повель Э.В., Веретевская И.А., Суделайнен Н.Н. Некоторые технико-экономические показатели ячеистого бетона, изготовленного по литьевой и ударной технологиям // *Строительные материалы*. 1992. № 9. С. 11–13.
4. Гарнашевич Г.С., Подлuzский Е.Я., Сажнев Н.П. Исследование теплофизических и эксплуатационных свойств ячеистого бетона // *Строительные материалы*. 1992. № 9. С. 24–26.
5. Вигдорчик Р.И., Телеш А.М. Применение ячеистого бетона в строительстве жилых и общественных зданий. Прогрессивные проекты и проектные решения // *Строительные материалы*. 1992. № 9. С. 27–29.
6. Галкин С.Л., Сажнев Н.П., Соколовский Л.В., Сажнев Н.Н. Применение ячеисто-бетонных изделий. Теория и практика. Минск: Стринко, 2006. 446 с.
7. Нгуен Тхань Киен, Кудряшов В.А., Дробыш А.С. Моделирование прогрева конструкций из автоклавного ячеистого бетона в условиях пожара // *Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь*. 2016. № 2. С. 20–31.
8. Сажнев Н.П., Гончарик В.Н., Гарнашевич Г.С., Соколовский А.В. Производство ячеисто-бетонных изделий. Теория и практика. Минск: Стринко, 1999. 283 с.
9. Сажнев Н.П., Гончарик В.Н., Гарнашевич Г.С., Соколовский А.В., Сажнев Н.Н. Производство ячеисто-бетонных изделий. Теория и практика. Минск: Стринко, 2004. 381 с.
10. Сажнев Н.П., Сажнев Н.Н., Сажнева Н.Н., Голубев Н.М. Производство ячеисто-бетонных изделий. Теория и практика. Минск: Стринко, 2010. 459 с.
11. Батыновский Э.И., Голубев Н.М., Сажнев Н.П. Производство ячеисто-бетонных изделий автоклавного твердения. Минск: Стринко, 2009. 127 с.
12. Сажнев Н.П., Соколовский Л.В., Журавлев И.С., Ткачик П.П. Как построить индивидуальный дом из ячеистого бетона. Минск: Стринко, 2003. 156 с.
13. Серия Б2.000-3.07 Узлы и детали сопряжений конструктивных элементов зданий с комплексным применением ячеистого бетона. Выпуск 0. Материалы для проектирования. Минск: Институт БелНИИС, 2007. 39 с.
14. Серия Б2.030-13.10 Узлы и детали поэтажно опертых стен жилых и общественных зданий из эффективных мелкоштучных стеновых материалов. Выпуск 1. Рабочие чертежи. Минск: Институт БелНИИС, 2010. 62 с.
15. Рекомендации по проектированию поэтажно опертых стен и перегородок из эффективных мелкоштучных стеновых материалов. Минск: Институт БелНИИС, 2011. 50 с.
16. Хартмут Р., Фридеманн Ш. Практическое руководство. Штукатурка. Материалы, техника производства работ, предотвращение дефектов. СПб.: Квинтет, 2006. 273 с.
17. Сажнев Н.П. Опыт производства и применения ячеисто-бетонных изделий автоклавного твердения в Республике Беларусь. *Материалы 7-й международной научно-практической конференции «Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения»*. Брест, Малорита. 2012. С. 5–16.
2. Bilydukevich V.L., Sazhnev N.P., Borodovskiy Yu.D. State and the main directions of development of production of cellular and concrete products in the CIS and abroad. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1992. No. 9, pp. 5–8. (In Russian).
3. Sazhnev N.P., Dombrovskiy A.V., Novakov Yu.Ya., Povel' E.V., Veretevskaya I.A., Sudelaynen N.N. Some technical and economic indicators of the yachisty concrete made on molding and shock technologies. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1992. No. 9, pp. 11–13. (In Russian).
4. Garnashevich G.S., Podluzskiy E.Ya., Sazhnev N.P. Research of heatphysical and operational properties of cellular concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1992. No. 9, pp. 24–26. (In Russian).
5. Vigdorichik R.I., Telesh A.M. Use of cellular concrete in construction of residential and public buildings. Progressive projects and design decisions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 1992. No. 9, pp. 27–29. (In Russian).
6. Galkin S.L., Sazhnev N.P., Sokolovskiy L.V., Sazhnev N.N. Primenenie yacheisto-betonnyh izdeliy. Teoriya i praktika. [Application of cellular and concrete products. Theory and practice]. Minsk: Strinko. 2006. 446 p.
7. Nguen Than Kkien, Kudryashov V.A., Drobysch A.S. Modeling of warming up of designs from autoclave cellular concrete in the conditions of the fire. *Vestnik komandno-inzhenernogo instituta MChS Respubliki Belarus*. 2016. No. 2, pp. 20-31. (In Belarus).
8. Sazhnev N.P., Goncharik V.N., Garnashevich G.S., Sokolovskiy A.S. Proizvodstvo yacheisto-betonnyh izdeliy. Teoriya I praktika [Production of cellular and concrete products. Theory and practice]. Minsk: Strinko. 1999. 283 p.
9. Sazhnev N.P., Goncharik V.N., Garnashevich G.S., Sokolovskiy A.S., Sazhnev N.N. Proizvodstvo yacheisto-betonnyh izdeliy. Teoriya I praktika [Production of cellular and concrete products. Theory and practice]. Minsk: Strinko. 2004. 381 p.
10. Sazhnev N.P., Sazhnev N.N., Sazhneva N.N., Golubev N.M. Proizvodstvo yacheisto-betonnyh izdeliy. Teoriya I praktika [Production of cellular and concrete products. Theory and practice]. Minsk: Strinko. 2010. 459 p.
11. Batiyanovskiy E.I., Golubev N.M., Sazhnev N.P. Proizvodstvo yacheisto-betonnyh izdeliy avtoklavnogo tverdeniya [Production of cellular and concrete products of autoclave curing]. Minsk: Strinko. 2009. 127 p.
12. Sazhnev N.P., Sokolovskiy A.S., Zhuravlev I.S., Tkachik P.P. Kak postroit individualny dom iz yacheistogo betona [How to build the individual house of cellular concrete]. Minsk: Strinko. 2003. 156 p.
13. Series B2.000-3.07. Knots and details of interfaces of structural elements of buildings to complex use of cellular concrete. Release 0. Materials for design. Minsk: Institut BelNIIS. 2007. 39 p.
14. Series B2.030-13.10. Knots and details of walls of residential and public buildings from effective the small of wall materials. Release 1. Working drawings. Minsk: Institut BelNIIS. 2010. 62 p.
15. Recommendations about design poetazhno the opertykh of walls and partitions from effective small wall materials. Minsk: Institut BelNIIS. 2011. 50 p.
16. Hartmut R., Fridemann Sh. Prakticheskoe rukovodstvo. Shtukaturka. Materialy, tekhnika proizvodstva rabot, predotvrashchenie defektov [Practical guidance. Plaster. Materials, technology of works, prevention of defects]. Saint-Petersburg: Kvintet. 2006. 273 p.
17. Sazhnev N.P. Experience of production and application of cellular and concrete products of autoclave curing in Republic of Belarus. *Materials of the 7th international scientific and practical conference "Experience of Production and Use of Cellular Concrete of Autoclave Curing"*. Brest, Malorita. 2012, pp. 5–16.

А.А. ПАК, канд. техн. наук (pak@chemy.kolasc.net.ru)

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН (ИХТРЭМС КНЦ РАН) (184209, Мурманская обл., г. Апатиты, ул. Академгородок, 26а)

Исследование сиштофа как активной минеральной добавки в ячеистом бетоне на техногенном сырье Кольского горнопромышленного комплекса

Сиштоф является побочным продуктом комплексной азотно-кислотной переработки апатитонепелиновой руды. Вследствие содержания в качестве основного минерала более 80 мас. % микрокремнезема в аморфном состоянии сиштоф представляет большой интерес как активная минеральная добавка для получения вяжущих веществ и ячеистых бетонов. Однако выполненные авторами исследования по ГОСТ 25094–2015 «Добавки активные минеральные для цемента. Методы определения активности» выявили, что по показателям прочности при сжатии сиштоф нельзя рекомендовать активной минеральной добавкой к цементам, но он является реакционно-активным по поглощению извести, что делает его перспективным в ячеисто-бетонных известьесодержащих смесях. В статье изложены результаты экспериментальных исследований эффективности использования сиштофа в ячеисто-бетонных смесях на основе техногенного сырья Кольского ГМК. Установлено, что введение 15–20 мас. % сиштофа в ячеисто-бетонные смеси плотностью менее 500 кг/м³ повышает прочность бетона в 1,5–2,2 раза. Добавка сиштофа в бетонные смеси более высоких плотностей ведет к снижению плотности газобетона на 12–20% и прочности при сжатии на 35–42%.

Ключевые слова: техногенное сырье, микрокремнезем, сиштоф, газобетон, газосиликатобетон, кремнеземистый компонент, минеральная добавка.

Для цитирования: Пак А.А. Исследование сиштофа как активной минеральной добавки в ячеистом бетоне на техногенном сырье Кольского горнопромышленного комплекса // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 11–15.

A.A. PAK, Candidate of Sciences (Engineering) (pak@chemy.kolasc.net.ru)

The I.V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials of the Russian Academy of Sciences Kola Science Center (26a, «Academic Town», Apatity, 184209, Murmansk region, Russian Federation)

Study of Si-stoff as a Mineral Additive to Cellular Concrete on Anthropogenic Raw Material of the Kola Mining Industrial Complex

Si-stoff is a by-product of the complex nitric-acid treatment of apatite-nepheline ore. Due to the content of over 80 mass % of micro-silica as a main mineral in amorphous state, Si-stoff is of great interest as an active mineral additive for producing binders and cellular concretes. But the study conducted by authors according to GOST 25094–2015 “Additives active mineral for cement. Methods for determining the activity” shows that the compression strength indicators of Si-stoff don't make it possible to recommend it as an active mineral additive to cements, but it is reaction-active concerning the lime absorption that makes it prospective in cellular-concrete lime containing mixes. The article presents the results of experimental studies of efficiency of the use of Si-stoff in cellular-concrete mixes on the basis of anthropogenic raw material of the Kola mining industrial complex. It is established that the introduction of 15–20 mass % of Si-stoff in cellular-concrete mixes of less than 500 kg/m³ density increases the strength of concrete by 1.5–2.2 times. Addition of Si-stoff to concrete mixes of higher densities leads to the reduction in the density of gas concrete by 12–20% and compression strength by 35–42%.

Keywords: anthropogenic raw material, micro-silica, Si-stoff, gas concrete, gas silicate concrete, silica component, mineral additive.

For citation: Pak A.A. Study of si-stoff as a mineral additive to cellular concrete on anthropogenic raw material of the Kola mining industrial complex. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 11–15. (In Russian).

При комплексной азотно-кислотной переработке апатитонепелинового концентрата и хвостов апатитовой флотации на глинозем и другие материалы (соду, поташ) в качестве побочного продукта образуется микрокремнезем — сиштоф [1, 2]. В отличие от природного кварцевого песка сиштоф содержит кремнезем в аморфном состоянии, что обеспечивает его большую реакционную способность во многих технологических процессах как при переработке, так и при непосредственном использовании. По литературным данным, аморфный кремнезем широко применяется для производства фильтровальных порошков, структурирования почв, получения медленно действующих удобрений. Наиболее емкими потребителями сиштофа может быть строительная, цементная, металлургическая и химическая промышленность [3–8].

Исследованный в работе сиштоф имел следующий химический состав, мас. %: SiO₂ — 80,56; Fe₂O₃ — 1,93; Al₂O₃ — 1,89; CaO — 0,55; MgO — 0,25; TiO₂ — 0,74; P₂O₅ — 0,08; SO₃ — 0,5; Na₂O — 0,5; K₂O — 0,58; ППП — 9,18; FeO и С не обнаружены. По химическому и минеральному составу сиштоф идентичен многим извест-

ным микронаполнителям, содержащим в качестве основного минерала аморфный кремнезем. В качестве примесей в сиштофе присутствуют микроклин, эгирин, в небольших количествах — неразложившийся нефелин. В виде единичных зерен отмечаются титаномагнетит, кальцит, апатит, пластинки слюды. Суммарное содержание минералов-примесей не превышает 20% и зависит от качества исходного сырья.

Испытание сиштофа как активной минеральной добавки для вяжущих веществ проводилось по ГОСТ 25094–2015 «Добавки активные минеральные для цемента. Методы определения активности». Активность минеральной добавки определяли по прочности при сжатии образцов, изготовленных из смеси портландцементного клинкера, стандартного песка, минеральной добавки и гипсового камня. Предварительно для проведения испытаний все компоненты вяжущих смесей сушат до постоянной массы и измельчают по отдельности до порошкообразного состояния тонкостью с остатком на сите № 008:

— для портландцементного клинкера — не менее 6% и не более 8% массы просеиваемой пробы;

Таблица 1

Номер смеси	Номер образца	Масса образца, г	Объем образца, см ³	Средняя плотность раствора, кг/м ³	Прочность при изгибе, МПа	Разрушающая нагрузка, кгс		Прочность при сжатии, МПа	
						P ₁	P ₂	P _{сж} ¹	P _{сж} ²
1	1	554	258,2	214	2	1760	1640	7	6,6
	2	550	258,9	212	1,8	1700	1480	6,8	5,9
	3	558	258,7	216	2,1	1700	1770	6,8	7,1
	4	557	264,3	211	2	1850	1760	7,4	7
	5	548	260,5	210	1,9	1780	1670	7,1	6,7
	6	557	263,1	212	2,1	1610	1780	6,4	7,1
								$\sum_{i=1}^{12} = 6,8$	
2	1	495	260,6	190	1,5	1850	1880	7,4	7,5
	2	469	245,3	191	1,5	1770	1960	7,1	7,8
	3	493	259	190	1,3	1960	2080	7,8	8,3 7,1
	4	495	258,9	191	1,3	1740	1780	7,0	6,7
	5	487	258,4	188	1,2	1730	1680	6,9	7,1
	6	492	257,4	191	1,1	1730	1780	6,9	
								$\sum_{i=1}^{12} = 7,3$	

– для стандартного песка – не менее 13% и не более 15% массы просеиваемой пробы;

– для гипсового камня – не менее 4 и не более 6% просеиваемой пробы.

Из измельченных материалов готовились вяжущие смеси путем перемешивания в течение 2 ч в лабораторной мельнице в следующих соотношениях:

– смесь № 1 – 600 г портландцементного клинкера, 1400 г стандартного песка, 100 г гипсового камня в пересчете на CaSO₄·2H₂O;

– смесь № 2 – 600 г портландцементного клинкера, 1400 г минеральной добавки (в нашем случае сиштофа), 100 г гипсового камня в пересчете на CaSO₄·2H₂O.

Из полученных смесей вяжущих готовили соответственно растворы № 1 и 2 по ГОСТ 30744–2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка» с определением консистенции растворов на встряхивающем столике. Из каждого раствора изготавливались шесть образцов-балочек размерами 40×40×160 мм, которые пропаривались, и по результатам испытаний 12 образцов (12 половинок образцов-балочек) определялся предел прочности при сжатии через 24±2 ч с момента их изготовления по ГОСТ 30744–2001.

По полученным показателям прочности при сжатии образцов из смесей № 1 и 2 определялась активность минеральной добавки на основании расчета критерия Стьюдента (*t*-критерий) при принятии гипотезы об однородности и симметричности распределения результатов испытаний.

В табл. 1 представлены результаты испытания образцов-балочек, изготовленных из смесей № 1 и 2 и пропаренных по режиму: подъем температуры до 85±5°C – 180±10 мин; изотермический прогрев при температуре 85±5°C – 360±10 мин; остывание образцов при отключенном прогреве – 120±10 мин.

В табл. 2 приведены расчетные показатели для вычисления *t*-критерия по формулам, заданным в ГОСТ 25094–2015.

Значение *t*-критерия вычисляют по формуле:

$$t = 2,45 \frac{\bar{X}_D - \bar{X}_П}{\sqrt{\frac{S_D^2 + S_П^2}{2}}}$$

где \bar{X}_D , $\bar{X}_П$ – средние арифметические пределов прочности при сжатии образцов, изготовленных соответственно из растворов с добавкой песка и сиштофа; S_D , $S_П$ – среднее квадратическое отклонение предела прочности при сжатии образцов, изготовленных соответственно из растворов с добавкой песка и сиштофа.

Средние арифметические пределов прочности при сжатии образцов вычисляли по формулам:

$$\bar{X}_D = \frac{\sum_{i=1}^{12} X_{iD}}{12};$$

$$\bar{X}_П = \frac{\sum_{i=1}^{12} X_{iП}}{12};$$

где X_{iD} , $X_{iП}$ – единичные значения предела прочности при сжатии образца, изготовленного соответственно из раствора с добавкой сиштофа и песка.

Средние квадратические отклонения пределов прочности при сжатии образцов вычисляют по формулам:

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (X_{iD} - \bar{X}_D)^2}{11}};$$

$$S_П = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (X_{iП} - \bar{X}_П)^2}{11}}.$$

Значение *t*-критерия следует вычислять при выполнении следующих условий:

$$S_D \approx S_П \leq 2 \text{ МПа.}$$

Условие $S_D \approx S_П$ считается выполненным, если:

Таблица 2

Номер смеси	Номер образца	$X_{iП}$	$X_{iП} - \bar{X}_{П}$	$(X_{iП} - \bar{X}_{П})^2$	Номер смеси	$X_{iД}$	$X_{iД} - \bar{X}_{Д}$	$(X_{iД} - \bar{X}_{Д})^2$
1	1	7,04	0,21	0,04	2	7,4	0,09	0,01
	2	6,56	0,27	0,07		7,52	0,21	0,04
	3	6,8	0,03	0		7,08	0,23	0,05
	4	5,92	0,91	0,83		7,84	0,53	0,28
	5	6,8	0,03	0		7,84	0,53	0,28
	6	7,08	0,25	0,06		8,32	1,01	1,01
	7	7,4	0,57	0,32		6,96	0,35	0,12
	8	7,04	0,21	0,04		7,12	0,19	0,04
	9	7,12	0,29	0,08		6,92	0,39	0,15
	10	6,68	0,15	0,02		6,72	0,59	0,35
	11	6,44	0,39	0,15		6,92	0,39	0,15
	12	7,12	0,29	0,08		7,12	0,19	0,04
	$\sum_{i=1}^{12}$	82		1,7		87,76		2,53

$$\frac{S_{Д}^2}{S_{П}^2} \text{ или } \frac{S_{П}^2}{S_{Д}^2} \leq 2,82;$$

при этом в числителе помещают большую из двух величин $S_{Д}^2$ или $S_{П}^2$; 2,82 – табличное значение критерия Фишера (F -критерия) при 5%-м уровне значимости и 11 степенях свободы для обеих дисперсий.

Если хотя бы одно из этих условий не выполняется, то следует считать, что испытания выполнены неудовлетворительно и их следует повторить:

$$\bar{X}_{П} = \frac{\sum_{i=1}^{12} X_{iП}}{12} = \frac{82}{12} = 6,83;$$

$$S_{П} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (X_{iП} - \bar{X}_{П})^2}{11}} = \sqrt{\frac{1,7}{11}} = 0,4;$$

$$\bar{X}_{Д} = \frac{\sum_{i=1}^{12} X_{iД}}{12} = \frac{87,7}{12} = 7,31;$$

$$S_{Д} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (X_{iД} - \bar{X}_{Д})^2}{11}} = \sqrt{\frac{2,53}{11}} = 0,48;$$

$$\frac{S_{Д}^2}{S_{П}^2} \leq 2,82;$$

$$\frac{0,48}{0,4} = 1,2 \leq 2,82;$$

$$t = 2,45 \frac{\bar{X}_{Д} - \bar{X}_{П}}{\sqrt{\frac{S_{Д}^2 + S_{П}^2}{2}}} = 2,45 \frac{7,31 - 6,83}{\sqrt{\frac{0,23 + 0,16}{2}}} = 2,45 \frac{0,48}{\sqrt{0,2}} = 2,45 \frac{0,48}{0,45} = 2,61.$$

В соответствии с ГОСТ 25094–2015 при значении t -критерия, равном или превышающем 15, добавку считают активной по прочности при сжатии; при значении t -критерия менее 15 добавку считают неактивной. В нашем случае $t=2,61 < 15$, вследствие чего сиштоф нельзя считать активной минеральной добавкой по прочности при сжатии.

С другой стороны, согласно ОНТП 09–85 «Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий по производству изделий их ячеистого и плотного бетонов автоклавного твердения» (Таллин: Минстройматериалов СССР, 1986. 112 с.), показателем активности минеральной добавки может служить степень поглощения им извести из известкового раствора. Испытания показали, что 1 г сиштофа поглощает в течение месяца из известкового раствора 408 мг СаО, что превышает активность многих известных кремнеземистых добавок (150 мг/г) и характеризует его как добавку с высокой реакционной способностью.

Таким образом, выполненные испытания не позволяют рекомендовать сиштоф в качестве активной минеральной добавки по показателю прочности при сжатии, однако он может быть использован как реакционно-активный компонент по поглощению извести, что немаловажно в ячеисто-бетонных известьесодержащих смесях.

В проведенных экспериментах была проверена эффективность сиштофа как активной добавки в бетонную смесь для повышения прочности газобетона. Для этого были приготовлены смеси с различным содержанием сиштофа. В качестве вяжущего было принято гашеное известково-песчаное вяжущее (ИПВ) активностью по $CaO_{св} = 19,35\%$, производимое на ОАО «Оленегорский завод силикатного кирпича» (ОАО «ОЗСК») путем совместного помола негашеной кальциевой извести и кварцевых отходов переработки железной руды на ОАО «Оленегорский концентрат» (ОАО «Олкон»). Кремнеземистым компонентом служили кварцевые отходы, молотые до удельной поверхности $\rho = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$. Активность силикатобетонной смеси – 14,07%. Расход алюминиевой пудры зависел от заданной плотности газосиликатобетона. Результаты испытаний образцов после автоклавной обработки при давлении водяного пара 0,8 МПа и затем высушенных до постоянной массы представлены на рис. 1.

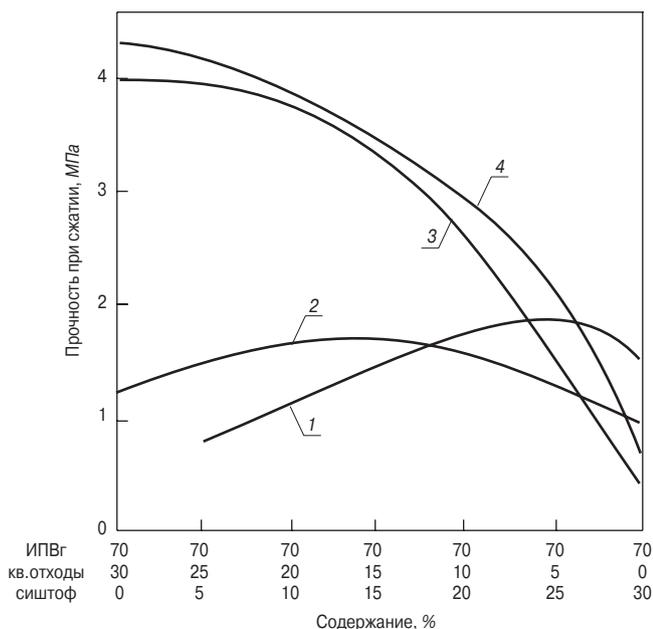


Рис. 1. Прочность газосиликатобетона в зависимости от содержания сиштофа: 1, 2, 3, 4 – при средней плотности 400, 500, 600, 700 кг/м³ соответственно

Как видно на рис. 1, замена части кварцевых отходов сиштофом приводит к увеличению прочности бетона только при низкой средней плотности. Для бетона средней плотностью 400 кг/м³ (кривая 1) добавка 20–25% сиштофа ведет почти к двойному увеличению прочности, а при плотности газосиликатобетона 500 кг/м³ (кривая 2) оптимум добавки сиштофа снижается до 10–15%, что обеспечивает максимальный прирост прочности 33–40%. При больших плотностях бетона (кривые 3, 4) введение сиштофа ведет только к резкому снижению прочности при одновременном падении плотности (рис. 2).

На основании полученных результатов принимаем за оптимальное количество добавку сиштофа в пределах 15–20 мас. % и только для бетонов низких плотностей (менее 500 кг/м³).

Было исследовано влияние вида известкового вяжущего на прочность бетона. Для этого использовали четыре вида известки: известь ковдорская негашеная, известь ковдорская, гашенная в автоклаве паром при давлении 0,3 МПа; ИПВ негашеное и ИПВ гашеное. Тонкость помола всех известковых вяжущих была одинаковая – 400–410 м²/кг. Для повышения прочностных свойств бетонные смеси готовили на смешанном вяжущем с добавлением портландцемента. Расход материалов на 1 м³ бетонной смеси, мас. %: известковое вяжущее – 35; портландцемент М400 – 20; кварцевые отходы молотые (ρ=300 м²/кг) – 30; сиштоф – 15; алюминиевая пудра – 0,06. Как показали испытания, вид известкового вяжущего оказывает существенное влияние как на прочность, так и на плотность газосиликатобетона (табл. 3).

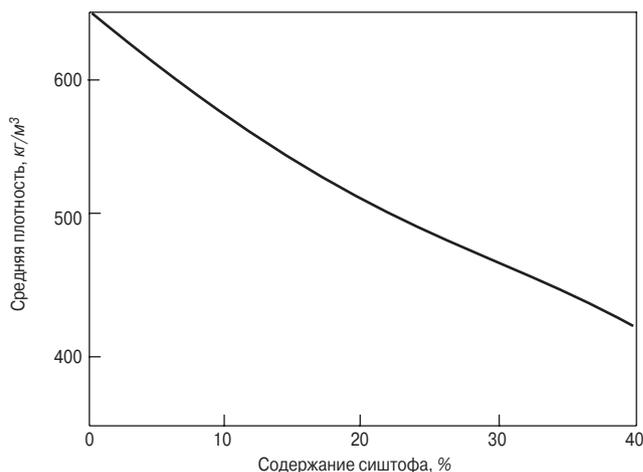


Рис. 2. Изменение плотности газосиликатобетона в зависимости от содержания сиштофа

Анализ результатов испытаний табл. 3 показывает некоторую их противоречивость. Смеси на негашеной известке, имея наибольшую активность по содержанию СаО_{св}, приобретают практически такую же прочность, что и смеси на гашеной известке, но меньшую, чем на ИПВ. Это можно объяснить тем, что при затворении и перемешивании газобетонной смеси на негашеной известке происходит интенсивное тепловыделение в результате гашения известки, при этом температура смеси повышается до 60–70°С. Газомасса начинает быстро вспучиваться (еще в бетоносмесителе) и загустевать. Чрезмерно бурное газообразование и вспучивание смеси при недостаточной газоудерживающей способности приводит к «кипению» (выходу газов) смеси с последующей ее подсадкой и уплотнением, о чем свидетельствует большая плотность бетона. Как показывает практика производства силикатобетонных изделий, наибольшую прочность имеют бетоны на частично гашеной известке; меньшую прочность имеют бетоны на негашеной известке и наименьшую – на гашеной известке-пушонке [6]. Уменьшить деструктивные процессы в газобетоне на негашеной известке можно путем затворения газобетонной смеси неподогретой водой, введением необходимых добавок, регулирующих сроки схватывания и твердения.

Как показали выполненные эксперименты, лучше всех по реологическим и прочностным показателям оказалась смеси на негашеном ИПВ: ввиду невысокой активности ИПВ не происходил разогрев бетонной смеси и процессы физико-химического взаимодействия компонентов происходили более плавно и глубоко.

Экспериментальные исследования по получению газобетона на других техногенных продуктах Кольского ГК: хвостов апатитнефелиновой флотации (ХАФ) АО «Апатит», золошлаковых смесей (ЗШС) Апатитской ТЭЦ и энергоцеха завода № 35 (Мурманск) – показали, что наиболее высокими физико-механическими свойствами обладают бетоны на кварцевых отходах ОАО «Олкон» и ЗШС Апатитской ТЭЦ. Прочность бетона

Таблица 3

Вид известкового вяжущего	Содержание СаО _{св} , %		Средняя плотность, кг/м ³	Прочность бетона, МПа		
	в вяжущем	в смеси		высушенных образцов	марочная	марочная при γ _c =500 кг/м ³
Известь негашеная	46,02	16,11	558	3,3	2,24	1,8
Известь гашеная	36,88	12,91	509	2,6	1,77	1,7
ИПВ негашеное	24,32	8,51	538	4,2	2,86	2,5
ИПВ гашеное	21,51	7,53	558	3,8	2,58	2,1

на ХАФ, а также на Мурманской ЗШС в 2–2,5 раза меньше, чем на кварцевых отходах и ЗШС Апатитской ТЭЦ.

Таким образом, экспериментальные исследования газобетонных смесей с добавкой сиштофа позволяют сделать следующие выводы:

– для получения газобетонов, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 25485–89, могут быть использованы кварцевые отходы ОАО «Олкон» и золошлаковые смеси Апатитской ТЭЦ;

– газобетоны на техногенном сырье Кольского ГМК отличаются от традиционных составов повышенным расходом цемента в смешанном вяжущем при соотношении цемент : известь = 4:1;

– замена части кремнеземистого компонента сиштофом приводит к увеличению прочности в 1,5–2,2 раза газобетонов только небольшой плотности ($\gamma_c \leq 400 \text{ кг/м}^3$);

– оптимальное количество добавки сиштофа находится в пределах 15–20 мас. % и может рекомендоваться только для бетонов низкой плотности ($\gamma_c \leq 500 \text{ кг/м}^3$);

– добавка сиштофа в бетонные смеси более высокой плотности ведет к снижению плотности газобетона на 12–20% и прочности на 35–42%.

Список литературы

- Захаров В.И., Матвеев В.А., Матвеев С.И. Исследования по азотно-кислой переработке бедной апатитонепелиновой руды. *Исследования в области химии и технологии минерального сырья Кольского полуострова*. Л.: Наука, 1986. С. 52–58.
- Матвеев В.А., Майоров Д.В., Захаров К.В. Об использовании аморфного кремнезема – продукта кислотной переработки нефелина в производстве строительных и технических материалов. *Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренцева региона в технологии строительных и технических материалов. II Международная научная конференция*. Петрозаводск. КарНЦ РАН, 2005. С. 119–121.
- Ткачев К.В., Плышевский Ю.С., Уфимцев В.М., Пьячев В.А. Сиштоф и его использование // *Технология коагулянтов*. 1975. С. 117–119.
- Горбунов С.П., Зинов И. Высокопрочный бетон с добавкой микрокремнезема // *Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура*. 1990. № 9. С. 55–58.
- Лесовик В.В., Потапов В.В., Алфимова Н.И., Ивашова О.В. Повышение эффективности вяжущих за счет использования наномодификаторов // *Строительные материалы*. 2011. № 12. С. 17–20.
- Фомина Е.В., Строкова В.В., Кудеярова Н.П. Особенности применения предварительно гашен-
- ной извести в ячеистых бетонах автоклавного твердения // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2013. № 5 (653). С. 29–34.
- Савенков А.И., Баранова А.А. Влияние микрокремнезема на основные физико-механические свойства пенобетона неавтоклавного твердения // *Вестник Ангарской государственной технической академии*. 2013. Т. 1. № 1. С. 39–41.
- Баранова А.А., Савенков А.И. Пенобетон, модифицированный микрокремнеземом ЗАО «Кремний» // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2014. № 8. С. 78–81.

References

- Zakharov V.I., Matveev V.A., Matveenko S.I. Studies on the nitric acid processing of poor apatite-nepheline ore. *Research in the field of chemistry and technology of mineral raw materials of the Kola Peninsula*. Leningrad: Nauka. 1986, pp. 52–58. (In Russian).
- Matveev V.A., Maiorov D.V., Zakharov V.K. On the use of amorphous silica – product acid processing of nepheline in the production of building and technical materials. *Problems of rational use of natural and technogenic raw materials in the Barents region in the technology of construction and technical materials. Second International scientific conference*. Petrozavodsk. Karelian research centre of RAS. 2005, pp. 119–121.
- Tkachev V.K., Plyshevsky J.S., Ufimtsev V.M., Plechev V.A. Systof and its use. *Tekhnologiya koagulyantov*. 1975, pp. 117–119. (In Russian).
- Gorbunov S.P., Zinov I. High-strength concrete with the addition of microsilica. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 1990. No. 9, pp. 55–58. (In Russian).
- Lesovik V.V., Potapov V.V., Alfimova N.I., Ivashova O.V. Improvement of efficiency of binders using nano-modifiers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 12, pp. 17–20. (In Russian).
- Fomina E.V., Stroikova V.V., Kudayarova N.P. Features of the application of pre-slaked lime in aerated concrete cured concrete. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2013. No. 5 (653), pp. 29–34. (In Russian).
- Savenkov A.I., Baranov A.A. Influence of microsilica on basic physical and mechanical properties of foam concrete of non-autoclaved hardening. *Vestnik Angarskoy gosudarstvennoy tekhnicheskoy akademii*. 2013. Vol. 1. No. 1, pp. 39–41. (In Russian).
- Baranov A.A., Savenkov A.I. Foam concrete modified with silica fume of JSC “Silicon”. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014. No. 8, pp. 78–81. (In Russian).

В издательстве «Стройматериалы» вы можете приобрести специальную литературу

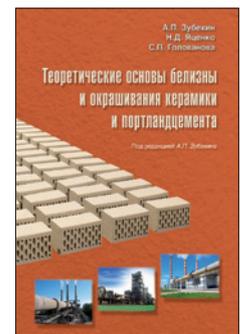
Книга «Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента»

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

М.: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2014. 152 с.

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.



Тел./факс: (499) 976-22-08, 976-20-36

E-mail: mail@rifsm.ru

А.Ю. СМІРНОВ¹, генеральный директор, А.М. РУБЛЁВ¹, директор по производству, А.А. БАРАНОВ¹, инженер-технолог, главный технолог (baranov.gazobeton@list.ru); М.В. АКУЛОВА², д-р техн. наук

¹ ООО «Егорьевский Завод Строительных Материалов» (140301, Московская обл., г. Егорьевск, ул. Меланжистов, 3Б)

² Ивановский государственный политехнический университет (153037, г. Иваново, ул. 8 Марта, 20)

Повышение эффективности работы производства АГБ по ударной технологии на Егорьевском Заводе Строительных Материалов

Раскрыт производственный опыт Егорьевского Завода Строительных Материалов по изготовлению автоклавного газобетона на технологической линии Vario-Block 1440 фирмы Masa-Henke, Германия. Показано, что работа по ударной технологии позволяет решить множество производственных задач, направленных на увеличение объемов выпуска готовой продукции и снижение ее себестоимости. Представлена информация по проведенной модернизации оборудования. Дана оценка профессиональной работы персонала предприятия. Достигнуто увеличение производительности технологической линии на 7,8% от проектной мощности до 1552,5 м³/сут газобетонных изделий. При этом полная себестоимость продукции снизилась на 13%, несмотря на рост цены материалов, электроэнергии, газа и транспортных издержек.

Ключевые слова: автоклавный газобетон, ударная технология, опыт производства, повышение производительности, снижение себестоимости.

Для цитирования: Смирнов А.Ю., Рублёв А.М., Баранов А.А., Акулова М.В. Повышение эффективности работы производства АГБ по ударной технологии на Егорьевском Заводе Строительных Материалов // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 16–19.

A.Yu. SMIRNOV¹, General Director, A.M. RUBLEV¹, Director for Production, A.A. BARANOV¹, Engineer-Technologist, Chief Technologist (baranov.gazobeton@list.ru); M.V. AKULOVA², Doctor of Sciences (Engineering)
¹ ООО "Yegoryevsky Plant of Building Materials (3B, Melanzhistov Street, Yegoryevsk, 140301, Moscow Oblast, Russian Federation)
² Ivanovo State Polytechnic University (20, 8 Marta Street, Ivanovo, 153037, Russian Federation)

Increase of Efficiency of Operation of Autoclaved Gas Concrete Production by the Shock Technology at Egorievsky Building Materials Factory

The production experience of Yegoryevsky Plant of Building Materials in the production of autoclaved gas concrete at the technological line Vano-Block 1440 of German Firm Masa-Henke is described. It is shown that the impact technology makes it possible to solve many production goals directed at increasing volumes of finished production output and reducing its self-cost. Information on the conducted modernization of the equipment is presented. The estimation of the professional work of the enterprise staff is made. The increase in the productivity of the technological line by 7.8% of the design capacity, up to 1552.5 m³/day of gas concrete products, has been achieved. At that, the total self-cost of production is reduced by 7.8% despite the growth of price of materials, electric energy, gas and transport expenses.

Keywords: autoclaved gas concrete, impact technology, production experience, productivity increase, cost saving.

For citation: Smirnov A.Yu., Rublev A.M., Baranov A.A., Akulova M.V. Increase of efficiency of operation of autoclaved gas concrete production by the shock technology at Egorievsky building materials factory. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 16–19. (In Russian).

Решение о строительстве предприятия по производству газобетонных блоков в г. Егорьевске (Московская обл.) было принято советом учредителей в 2007 г. После анализа предложений поставщиков технологического оборудования выбор пал на немецкую компанию MASA GmbH (ранее Masa-Henke) — одного из мировых лидеров в разработке технологии и изготовлении оборудования для производства автоклавного ячеистого бетона. Как показал дальнейший опыт эксплуатации на Егорьевском Заводе Строительных Материалов (ЕЗСМ), данное решение было правильным. К сожалению, из-за кризиса 2008–2009 гг. проект был временно заморожен. Активное строительство и монтаж начались в апреле 2011 г. Первые газобетонные блоки в итоге выпущены 5 июля 2012 г.

На предприятии ЕЗСМ установлена технологическая линия Vario-Block. Ее заявленная проектная производительность составляет 1440 м³ ячеистого бетона в сутки, а особенностью производства является работа по ударной технологии [1].

На начальном этапе среднесуточная выработка составляла порядка 1100 м³. При этом завод вышел на круглосуточный режим производства в четыре смены, а штат сотрудников составлял 260 человек. В сутки зали-

валось по 190–200 массивов объемом 5,625 м³ готовой продукции, а месячный выпуск достигал 30 тыс. м³. Если рассматривать показатели, приближенные к технологии, то производственный цикл занимал 7–8 мин, а скорость созревания массивов доходила до 150 мин. Эти показатели существенно повышали себестоимость продукции, снижая конкурентоспособность предприятия.

Следует отметить, что объем производства в 75% от проектной мощности линии был вызван не слабыми возможностями самого оборудования, а организационно-техническими и технологическими аспектами работы предприятия. На заводе изначально была поставлена высокая планка, которую с наскока преодолеть не удалось. Специалистами отделов и служб были выделены критерии, которые не позволяли пройти психологический рубеж в 1100 м³. Основным стала, конечно, работа с операторами и машинистами оборудования, ведь каким бы хорошим ни было оборудование с высокой степенью автоматизации, управляет им все же человек. Выяснилось, что в процессе производства чаще возникали не аварийные ситуации, а так называемые рабочие моменты. Порой нужно было выполнить буквально пару операций на пульте управления, и автоматический режим продолжался. На практике же терялись драго-

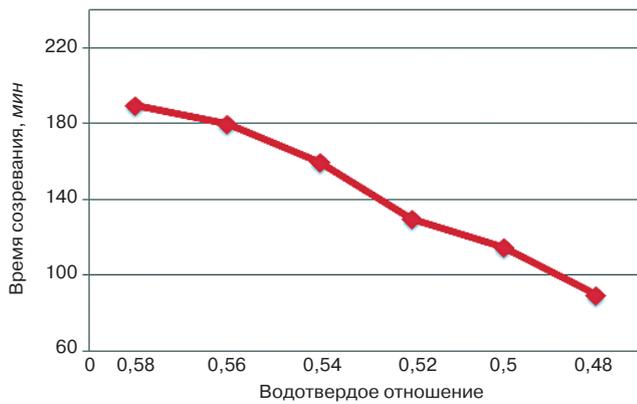


Рис. 1. График изменения времени созревания от снижения В/Т

ценные минуты, а такт производства сбивался. Проведя ряд курсов обучения и стажировок, завод смог оперативно повысить квалификацию всех работников до должного уровня. В результате желаемый объем выпуска готовой продукции (1440 м^3 в сутки) был достигнут.

В период 2013–2014 гг. предприятие ЕЗСМ благополучно отработало с заявленной проектной производительностью. Причем объем выпуска все равно не позволял обеспечить спрос на газобетон. Поэтому, учитывая заложенный потенциал как в самой линии Vario-Block 1440, так и в возможностях завода, руководством была поставлена новая цель – выпуск 43–44 тыс. $\text{м}^3/\text{мес}$ газобетона. С этого момента началась активная работа по повышению производительности линии выше проектной и снижению себестоимости продукции. Причем именно ударная технология и ее особенности, как выяснилось в ходе реализации поставленных задач, стали залогом успеха.

Был составлен план организационно-технических мероприятий, включающий около 80 пунктов. Укрупненно его можно разделить на несколько блоков:

- улучшение технологического процесса;
- увеличение коэффициента использования оборудования (КИО);
- увеличение коэффициента выхода годной продукции (КВГ);
- модернизация оборудования;
- организационные мероприятия, направленные на повышение профессиональных навыков персонала завода.

При выпуске 1440 м^3 продукции первым явным препятствием, которое не позволяло увеличить объем, было время созревания. Между заливкой всех форм и резкой первого массива образовывался небольшой технологический промежуток, который использовался для обслуживания линии. Вскоре выяснилось, что обоснованной необходимости в этом нет. Для содержания оборудования в технически исправном и чистом состоянии достаточно было одной паузы в смену, приуроченной к переходу на выпуск газобетона с другой плотностью, или к смене размеров блоков на участке резки, или достаточно долгой чистке миксера участка смесительной башни. Сократить время созревания было решено за счет снижения водотвердого отношения газобетонной смеси (В/Т) [2]. К тому моменту возникло понимание, что для ударной технологии время созревания достаточно высокое. Да и работа самих столов оставалась под вопросом. Частота и высота совершаемых ударных воздействий были невелики. В редких случаях, когда массив по техническим причинам отправлялся в камеру созревания, минуя ударный стол, не наблюдалось существенных отличий от массивов, прошедших ударные воздействия.

Большую помощь в понимании процессов производства ячеистого бетона по ударной технологии и оптими-



Рис. 2. Образование дефектной структуры из-за разницы температур запарочного днища и газобетонной смеси

зации составов оказали Н.П. Сажнев [3] и М.В. Кафтаева [4]. Снизив В/Т и изменив настройки работы ударных столов, удалось сократить время созревания (рис. 1).

Дальнейшие этапы повышения эффективности производительности можно охарактеризовать как циклические. Попутно всплывали новые задачи, решая которые специалисты предприятия вновь возвращались в начало технологической цепочки, как бы на следующий виток доработок. При значительном ускорении созревания за счет еще большего снижения В/Т, выяснилось, что время выполнения технологических операций оказалось недостаточно коротким. Но специфика оборудования фирмы MASA позволила успешно решить и эти задачи. Без подключения дополнительного компьютера и работ по перепрограммированию с пульта управления производился подбор оптимальных позиций и временных интервалов. А фактическое наличие на каждом двигателе частотного преобразователя дало возможность менять скорости передвижения и выполнения операций на всех этапах производства.

Использование ударной технологии с вязкими смесями позволило выделить и другие особенности производства. Изначально рабочая температура при заливке составляла $38\text{--}39^\circ\text{C}$, однако благодаря снижению доли свободной (холодной) воды рабочая температура стала $41\text{--}42^\circ\text{C}$. При этом отрицательных факторов в технологии выявлено не было. Возник только вопрос появления крупных пор, который рассматривался с точки зрения покупательской привлекательности внешнего вида продукции. Испытательной лаборатории ЕЗСМ при сравнительной оценке физических свойств газобетона с наличием крупных пор и без них удалось зафиксировать рост прочности при сжатии (как отпускной, так и фактической). Остальные характеристики не претерпели существенных изменений. Повышение начальной температуры позволило снизить расход газообразователя на 3–4%, а также улучшить структуру вспученной газобетонной массы в местах примыкания к стенкам заливочной формы. Особенно это было заметно со стороны запарочного днища, которое на линии Vario-Block является рабочим бортом. Увеличение производительности и ускорение оборота бортоснастки, способствовало сохранению достаточно высокой температуры стенки заливочной формы. Это приводило к ускорению процесса роста по периметру залитой ячеистой смеси. Структура материала на расстоянии 20–50 мм от борта имела крупную, рыхлую ячейку [5] (рис. 2). Выравнивание температур и повышение вязкости массы при сливе существенно снизило образование данного дефекта.

Работа на пониженном В/Т способствовала пересмотру и этапа автоклавной обработки. Благодаря сниже-

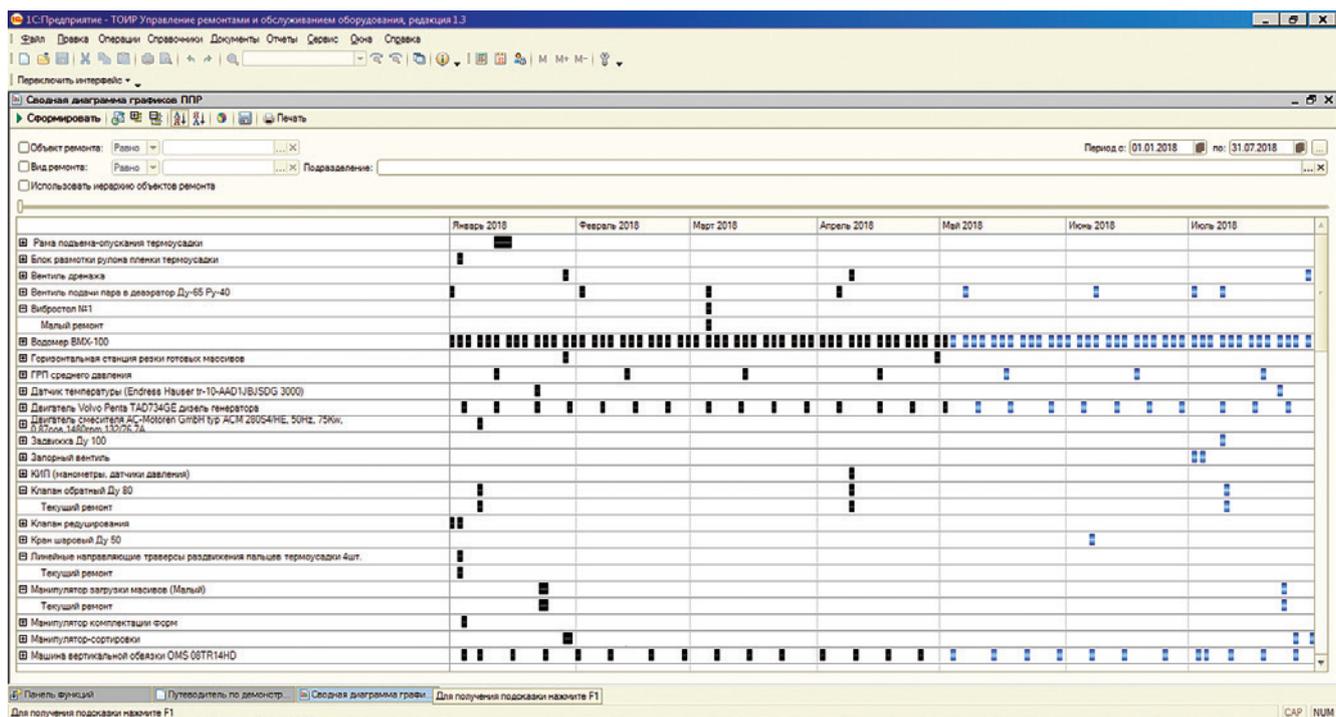


Рис. 3. Вид сводной диаграммы графиков ППР в системе 1С

нию влажности массива-сырца до 27–30% и повышению его температуры удалось сократить графики автоклавирувания [6]. Изменению подвергся как этап подъема давления, так и экзотермической выдержки. В результате работа автоклавного отделения приобрела равномерный характер. Удалось обеспечить необходимую оборачиваемость для повышения эффективности производительности завода. Вдобавок увеличилась длительность цикла перепуска пара и сократился объем образуемого конденсата. При этом паросиловое хозяйство зафиксировало экономию газа в среднем 5% в месяц.

Дальнейшее наращивание объемов производства было прервано, так как при длительном выпуске газобетона повышенной плотности образовалась острая нехватка в песчаном шламе. К тому моменту мельница Cemtec работала на максимальной паспортной производительности, а нагрузка на основной двигатель достигала 85–95% от допустимой. В решении данного вопроса основную роль опять сыграла ударная технология. Были пересмотрены нормы удельной поверхности молотого кремнеземистого компонента. Снизив загрузку мелющими телами и увеличив производительность до 30 т/ч, помольно-сырьевой участок смог обеспечить основное производство необходимым количеством песчаного шлама. При этом нагрузка на двигатель шаровой мельницы осталась на прежнем уровне. Благодаря снижению удельной поверхности с 240 до 210 м²/кг при заливке D600 было ожидаемо отмечено увеличение распыляемости газобетонной смеси. Понижив В/Т и выполнив ряд технологических корректировок, удалось удержать прочность готовой продукции от неминуемой просадки.

В отдельные периоды работы ЕЗСМ неоднократно вставал вопрос с нехваткой основных компонентов смеси. Ввиду увеличения производительности предприятия поставщики порой не могли своевременно обеспечить в полном объеме необходимый уровень запасов. Было принято решение о подборе нескольких поставщиков. Тестовая работа на альтернативных материалах осуществлялась и для отработки возможных изменений в технологии, и для поиска путей повышения качества готовой продукции, и для увеличения производительности, и для снижения себестоимости. На начальном этапе апроба-

ции из-за низкого В/Т заливочной смеси особое внимание в паспортных данных сырьевых компонентов уделялось: возможности использования интенсификаторов помола при производстве; удельной поверхности; скорости и температуре гашения извести; нормальной густоте цементного теста; кинетике газовыделения и размеру частиц газообразователя. Специфика ударного способа дала возможность оперативно подобрать варианты сочетаний цемента, извести и алюминия. При этом отделом главного технолога было разработано для каждого интервала плотности изделий порядка 8–10 рецептов, учитывающих особенности и качественные характеристики по каждому поставщику. Именно работа по ударной технологии в конечном итоге позволила получить своего рода сырьевую безопасность и независимость.

Безусловно, увеличению производительности ЕЗСМ выше проектной и снижению себестоимости продукции способствовали и оптимизационные работы. Они проводились инженерно-техническими специалистами. С учетом фактического состояния оборудования и статистических данных отказов его работы, были установлены интервалы межремонтных циклов. На их основе разработан график текущего обслуживания в базе 1С (рис. 3). Его соблюдение позволило эффективно распределить материальные ресурсы для подготовки проведения ППР. Это, в свою очередь, максимально снизило внеплановые простои между циклами обслуживания.

Также проведен ряд самостоятельных модернизаций оборудования по повышению производительности и надежности, снижению энергозатрат. Практически полностью была пересмотрена работа участка подачи сырьевых компонентов: проложены дублирующие магистральи к расходным силосам; выполнен монтаж пневмокамерных насосов; изменена система подачи песка в бункер-питатель шаровой мельницы. Доработке подверглись и механизмы основного производственного цеха: произведена замена шнеков ЦПУ на более производительные; для ускорения процесса смазки форм на маслостанции врезаны дополнительные форсунки; на заливочных формах установили фальшборты; изменена система гидравлики кранов-манипуляторов за счет дополнительных насосных станций и радиаторов охла-

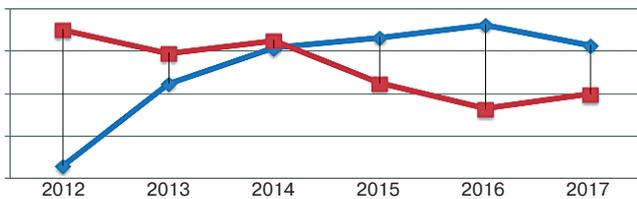


Рис. 4. Изменение производительности и себестоимости в относительных единицах

дения масла; программу управления краном участка накопителя днищ дополнили функцией «зима-лето»; во втором модуле резки смонтирован комплект колонн под расширение размерного ряда продукции; под краном-перестановщиком участка сортировки изготовлен пятый выставочный стол.

Отдельной задачей стоял вопрос модернизации линии переработки подрезного слоя [7]. К тому же совместно с ОАО НПО «Магнетон» г. Владимира налажен выпуск как быстро изнашиваемых запчастей (винт миксера, молотки дробилки, определенные типы рабочих колес шламочасов), так и крупных узлов (поворотный механизм сливного рукава миксера, подъемный стол упаковочной машины, толкатель автоклавного трансбордера, запорочные днища и телеги). В результате совокупность проведенных мероприятий дала возможность достичь желаемого уровня эффективной эксплуатации всей линии по производству газобетона.

Выход предприятия на повышенные объемы выпуска был бы невозможен и без качественной и профессиональной работы персонала [8]. Поэтому мы уделили особое внимание подготовке и мотивации сотрудников. Были разработаны технологические карты и производственные инструкции для каждого участка, включающие требования контроля над технологическими процессами. В даль-

нейшем введение ежегодной аттестации позволило выявить слабые места в обучении. При этом результаты прохождения аттестации напрямую влияли на материальное поощрение работника. Для всех должностей были установлены свои КРП, зависящие как от общего выполнения производственного плана, так и от выполнения показателей того или иного подразделения. Рост технической подготовки сотрудников и правильная система мотивации позволили выйти на достаточно высокий уровень производительности. А повышение квалификации и постоянное улучшение социального пакета дали возможность оптимизировать штат, сократив персонал на 16,4%. Уменьшив суммарный ФОТ предприятия, мы повысили заработную плату работников от 8 до 20%.

Отработка ударной технологии и основной объем выполненных организационно-технических мероприятий пришлось на 2015–2016 гг. В результате производственный цикл был сокращен до 4,5 мин. Рост газобетонной смеси на ударном столе стал занимать не более 540 с. При этом время созревания вне зависимости от плотности выпускаемой продукции составило 90–110 мин. Переходы по сырью благодаря подобранным рецептурам и оперативному отслеживанию этапа подъема-откипания массы после заливки теперь не вызывают сбоя такта работы линии. Коэффициент выхода годной продукции в указанный период стабильно зафиксировался на 98,7–99,1%. Самое главное – были достигнуты поставленные задачи. Удалось увеличить производительность линии на 7,8% от проектной мощности до 1552,5 м³/сут. Полная себестоимость продукции снизилась на 13%, несмотря на рост цены материалов, электроэнергии, газа и транспортных издержек (рис. 4).

За пять лет успешной работы Егорьевский Завод Строительных Материалов раскрыл потенциал ударной технологии линии Vario-Block 1440 компании MASA.

Список литературы

1. Кларе М., Иванов А.К. Производство ячеисто-бетонных изделий по технологии фирмы «Маза-Хенке» // *Строительный рынок*. 2008. № 5. С. 11–14.
2. Вишневецкий А.А., Гринфельд Г.И. Ударная или литевая? *Сб. докладов научно-практической конференции «Современный автоклавный газобетон»*. СПб. 2015. С. 25–31.
3. Сажнев Н.П. и др. Производство ячеисто-бетонных изделий: теория и практика. Минск: Стринко, 2010. 464 с.
4. Кафтаева М.В. Теоретическое обоснование основных переделов технологии производства ячеистых силикатных материалов автоклавного твердения. Дисс... д-ра техн. наук. Белгород. 2013. 299 с.
5. Королев А.С., Волошин Е.А., Трофимов Б.Я. Оптимизация состава и структуры конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона // *Строительные материалы*. 2004. № 3. С. 30–32.
6. Сажнев Н.П., Сажнев Н.Н. Энергосберегающая ударная технология производства ячеисто-бетонных изделий и конструкций // *Будівельні матеріали виробництва санітарна техніка*. 2009. № 327. С. 102–106.
7. Баранов А.А. Ресурсосберегающая технология применения многостадийного способа переработки подрезного слоя. *Сб. докладов научно-практической конференции «Современный автоклавный газобетон»*. Екатеринбург. 2017. С. 22–26.
8. Федосов С.В., Грузинцева Н.А., Матрохин А.Ю. Моделирование условий обеспечения качества продукции предприятия по производству строительных материалов с учетом уровня профессионализма кадрового потенциала // *Строительные материалы*. 2015. № 12. С. 65–67.

References

1. Klare M., Ivanov A.K. Production of cellular concrete products using the technology of the company «Maza-Henke». *Stroitel'ny rynek*. 2008. No. 5, pp. 11–14.
2. Vishnevsky A.A., Grinfeld G.I. Shock or injection? *Paper reports of the scientific-practical conference «Modern autoclaved aerated concrete»*. Saint-Petersburg. 2015, pp. 25–31. (In Russian).
3. Sazhnev N.N. etc. *Proizvodstvo yacheistobetonnykh izdeliy: teoriya i praktika* [Production of cellular concrete products: theory and practice]. Minsk: Strinko. 2010. 464 p.
4. Kaftaeva M.V. Theoretical substantiation of the main redistribution of the technology of production of cellular silicate materials of autoclave hardening. Doctor Diss. (Engineering). Belgorod. 2013. 299 p. (In Russian).
5. Korolev A.S., Voloshin E.A., Trofimov B.Ya. Optimization of composition and structure structural-heat-insulating cellular concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 3, pp. 30–32. (In Russian).
6. Sazhnev N.P., Sazhnev N.N. Energy-saving shock technology for the production of cellular concrete products and structures. *Budiveln'i materialy virobi ta sanitarna tekhnika*. 2009. No. 327, pp. 102–106.
7. Baranov A.A. Resursosberegajushchaja technology of application of a multistage method of processing of undercutting layer. *Paper reports of the scientific-practical conference «Modern autoclaved aerated concrete»*. Ekaterinburg. 2017, pp. 22–26. (In Russian).
8. Fedosov S.V., Gruzintseva N.A., Matrokhin A.Yu. Modeling of conditions for ensuring the quality of products of the enterprise for the production of building materials, taking into account the level of professionalism of the personnel potential. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 12, pp. 65–67. (In Russian).

Г.В. КУЗНЕЦОВА, инженер (kuznetzowa.gal@yandex.ru), Н.Н. МОРОЗОВА, канд. техн. наук (ninamor@mail.ru), И.Д. ЮСУПОВ, студент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

Исследование влияния дисперсных добавок на свойства автоклавного газобетона

Рассматривается возможность применения порошкообразных добавок из отходов собственного производства – гидросиликатов в производстве автоклавного газобетона с удельной поверхностью, равной не менее тонины помола цемента. Гидросиликаты способствуют повышению прочности за счет лучшей перекристаллизации CSH(I) в тоберморит. Молотые добавки как самостоятельный компонент рассматриваются в зависимости от массы песка. Сухие порошки – молотые отходы газобетона и кирпича – снижают подвижность смеси, что приводит к уменьшению количества свободной воды в растворяющей смеси и увеличению поризации. Введение добавок способствует росту не только прочности, но и плотности изделий, что нежелательно в производстве газобетона. Приводится водопотребность порошков из газобетона и кирпича. Предложен перерасчет водотвердого отношения с учетом потребности порошка. Приводятся свойства растворяющей смеси с корректировкой воды, обеспечивающей снижение плотности.

Ключевые слова: автоклавный газобетон, добавка, кирпич, пластификатор, плотность.

Для цитирования: Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Юсупов И.Д. Исследование влияния дисперсных добавок на свойства автоклавного газобетона // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 20–23.

G.V. KUZNETSOVA, Engineer, (kuznetzowa.gal@yandex.ru), N.N. MOROZOVA, Candidate of Sciences (Engineering) (ninamor@mail.ru), I.D. YUSUPOV, Student
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

Research in Influence of Disperse Additives on Properties of Autoclaved Gas Concrete

The possibility to use powder-like additives from waste of own production – hydro-silicates in production of autoclaved gas concrete with a specific surface equal to not less than the fineness of cement grinding is considered. Hydro-silicates contribute to improving the strength due to the better recrystallization of CSH (I) in tobermorite. Ground additives as an independent component are considered depending on the sand mass. Dry powders, ground wastes of gas concrete and brick, reduce the mix mobility that leads to reducing the amount of free water in the mortar mix and increasing the porization. The introduction of additives contributes to the growth of strength and density of products which is not desirable in the production of gas concrete. Water demand of gas concrete and brick powders is presented. The recalculation of water-solid ratio with due regard for the need of powder is proposed. Properties of the mortar mix with water correction providing the density reducing are presented.

Keywords: autoclaved gas concrete, additive, brick, plasticizer, density.

For citation: Kuznetsova G.V., Morozova N.N., Yusupov I.D. Research in influence of disperse additives on properties of autoclaved gas concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 20–23. (In Russian).

Цементные бетоны на плотных заполнителях с добавками в составе используются в настоящее время повсеместно. Добавки позволяют достичь высоких показателей по плотности, прочности, водонепроницаемости, морозостойкости и др. Добавок в бетон существует очень много, и у каждого вида свое предназначение.

Ячеистый бетон автоклавного твердения, имеющий особенный сырьевой компонент – негашеную известь, – способствует поиску вариантов добавок. Из наиболее часто используемых добавок можно выделить минеральные и химические добавки, а также дисперсное армирование.

Пластификаторы широко применяемые в цементных бетонах оказывают влияние на основной сырьевой продукт ячеистого бетона автоклавного твердения – известь, точнее, на реакцию гашения извести, что подтверждается исследованиями [1, 2]. Но без образования щелочи и без повышенной температуры процесса гашения извести интенсивного окисления алюминия не получить. Гидратация извести является экзотермической реакцией.

Увеличение времени достижения максимальной температуры связано с увеличением срока гидратации и однозначно им определяется [1]. Применение пластифицирующих добавок также позволяет значительно повысить подвижность бетонных и растворных смесей, но и замедлить твердение цемента [3]. В технологии газобетона на смешанном вяжущем цемент необходим в качестве структуроформирующего компонента в доавтоклавный период твердения [2].

Одним из важных причин использования добавок является утилизация своих же отходов. Такие отходы, как промывочная вода, обрезки газобетонного массива, успешно вошли в состав технологии ячеистого бетона. Технологии новых заводов зарубежных фирм сразу решают эти проблемы. Например, на Воронежском комбинате строительных материалов в одном из цехов образуется подрезной слой после автоклавной обработки, а в другом цеху, запущенном в строй позже, применена технология, при которой подрезной слой не образу-

ется. Тем не менее вопрос утилизации подрезного слоя остается открытым.

Поэтому вопросам переработки подрезного слоя, как и некондиционных изделий, уделяется достаточно много внимания в исследованиях [2, 4, 5, 6].

Добавка отходов не меняет фазового состояния новообразований. Гидросиликаты способствуют повышению прочности за счет лучшей перекристаллизации CSH(I) в тоберморит [4].

Известно, что для обеспечения повышенной устойчивости поризованной массы на стадии формирования

Таблица 1
Характеристика дисперсных добавок

Наименование	Истинная плотность, г/см ³	Удельная поверхность, м ² /кг
Молотый силикатный кирпич	2,57	310
Молотый газобетон	2,47	600

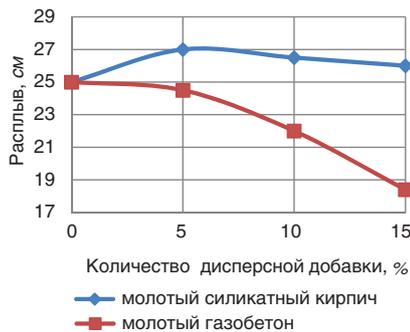


Рис. 1. Влияние дисперсных добавок на подвижность ячеисто-бетонной смеси

изделий и набора структурной прочности, а также для создания большого объема цементирующих новообразований при твердении в технологии ячеистых бетонов используют тонкодисперсные композиции [5]. Следовательно, и применение добавок возможно только в виде тонкодисперсных композиций [4, 7]. Все вышеприведенные исследователи подтверждают, что при вводе молотых добавок изменяется вязкость смеси, и подтверждается это изменением расплыва смеси [2, 4, 5] или изменением вязкости [7].

Основным свойством легкого ячеистого бетона является плотность и прочность. В работах А.А. Лаукайтиса исследована добавка с удельной поверхностью $1000 \text{ м}^2/\text{кг}$ и содержащей 30% кварцевого песка отходы газобетона из изделий плотностью $300\text{--}350 \text{ кг}/\text{м}^3$. Сделан вывод, что молотые отходы значительно повышают прочность, но при этом плотность изделий повышается.

Увеличение плотности также зафиксировано в [8] при изучении влияния базальтовой фибры и углеродных многослойных нанотрубок на физико-механические характеристики газобетона. Результат исследования — увеличение прочности в 1,5–2 раза, а плотность газобетона возрастает с увеличением количества добавок.

В настоящей работе исследовалось влияние дисперсных добавок (молотого газобетона и молотого силикатного кирпича) на свойства газобетона при использовании смешанного вяжущего (известь+портландцемент). Характеристики молотого кирпича и газобетона представлены в табл. 1.

Ячеисто-бетонную смесь марки D600–D500 готовили по литевой технологии на смешанном вяжущем при отношении кремнеземистого компонента к вяжущему $S=1,5$. Для приготовления смеси выбран портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Мордовцемент», известь с содержанием $\text{CaO}+\text{MgO}$ 82% и временем гашения 12 мин и кварцевый песок с удельной поверхностью $250\text{--}300 \text{ м}^2/\text{кг}$.

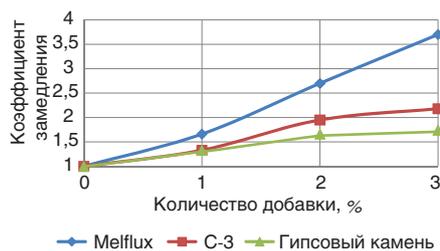


Рис. 2. Коэффициент замедления гидратации извести с добавками.

Количество вводимой добавки рассчитывалось от массы песка. Подвижность смеси замеряли прибором Суттарда. Результаты представлены на рис. 1.

Как видно из полученных результатов, использование в составе ячеисто-бетонной смеси дисперсных добавок в чистом виде приводит к снижению подвижности и росту вязкости смеси. В большей степени снижает подвижность добавка молотого газобетона. Уменьшение подвижности смеси при вводе дисперсных добавок можно объяснить тем, что последняя забирает на себя воду у смеси. Для порошков молотого кирпича и молотого газобетона определена водопотребность с помощью цемента известной нормальной плотности, которая составила для молотого кирпича 38,8% и для молотого газобетона 65,5%.

В данной ситуации для растворной смеси желательнее применить пластификаторы-разжижители для восстановления подвижности. Применение пластификаторов для ячеисто-бетонной смеси, как уже отмечалось в исследованиях [1, 2], приводит помимо разжижения и к замедлению реакции гашения извести. На рис. 2 приведены коэффициенты замедления гидратации извести с пластификаторами и двуводным гипсом.

Melflux, являясь хорошим разжижителем, выступает и хорошим замедлителем гашения и имеет наибольший коэффициент замедления.

Для исследований были приготовлены образцы с пластификаторами C-3 в количестве 0,2% и Melflux в количестве 0,04% с целью проверки влияния их на подвижность и плотность ячеистого бетона при $V/T=0,5$. Результаты представлены на рис. 3.

Как видно, Melflux по сравнению с добавкой C-3 в пятикратном меньшем размере обеспечивает равнозначное увеличение подвижности и является более эффективным, если бы только не его столь же сильное влияние на гидратацию извести (рис. 2).

Растворная смесь поризуется водородом, получаемым от окисления газообразователя — алюминия, рас-

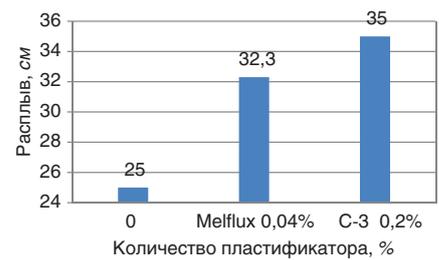


Рис. 3. Влияние добавки на подвижность растворной смеси

чет которого осуществляется через объем необходимой поризации. Расчет расхода газообразователя производится по формуле:

$$P=1-D(W+V/T)/1,1,$$

где P — поризация; D — плотность; V/T — водотвердое отношение; W — удельный объем сухой смеси.

Следовательно, в расчете поризации (P) смеси водотвердое отношение (V/T) играет важную роль.

На основании полученных данных произведен математический перерасчет водотвердого отношения и поризации. Получено значение фактического количества воды в растворной смеси после введения добавки и V/T , а отсюда и величина требуемой расчетной поризации. Результаты представлены на рис. 4.

Очевидно, что ячеистая смесь обезвоживается за счет добавки. Объем смеси уменьшается, требуется увеличение поризации и, как следствие, расхода газообразователя. Нехватка воды приводит к прекращению вспучивания, растрескиванию массива. Установлено, что снижение V/T менее 0,5 приводит к отклонениям реологического и температурного параметров смеси. Вода, помимо обеспечения гидратации извести и формирования первичной структуры новообразований, выполняет стабилизирующую и транспортную функцию, заключающуюся в снижении температуры силикатной смеси за счет большой теплоемкости воды, а транспортная — в непрерывном отводе продуктов реакции, подводе реагентов в реакционную зону и создании условий для формирования ячеистой структуры с последующим укреплением при схватывании [1]. Очевидно, что если сохранить (скорректировать) V/T в смеси с учетом водопоглощения добавки, то расчетное значение поризации сохранится постоянным (рис. 5).

Из приготовленной смеси с добавками заливали образцы-кубы. Через 1 сут нормального твердения формы раскрывали и образцы подвергали автоклавной обработке при давлении 1,2 МПа. Определяли плотность, прочность и влажность согласно НТД. Результаты представлены на рис. 6, 7.

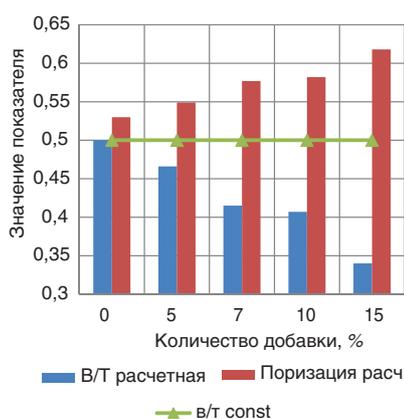


Рис. 4. Изменение В/Т смеси и расчетной поризации смеси при введении в смесь молотой добавки газобетона

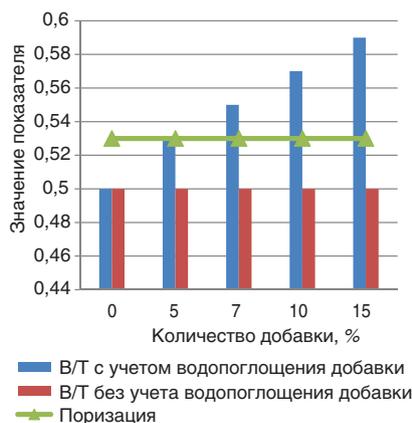


Рис. 5. Изменение В/Т смеси при введении добавки молотого газобетона с корректировкой количества воды на водопотребность добавки

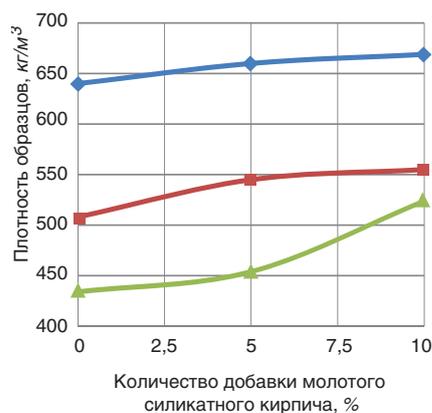


Рис. 6. Влияние количества добавки молотого силикатного кирпича на плотность ячеистого бетона при постоянном В/Т без учета водопотребности добавки

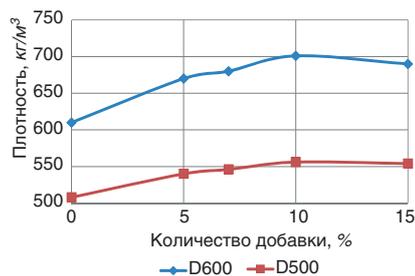


Рис. 7. Влияние количества дисперсной добавки молотого газобетона на плотность ячеистого бетона

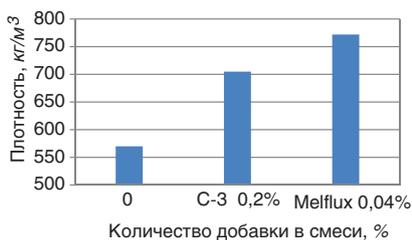


Рис. 8. Влияние пластификаторов на плотность изделий

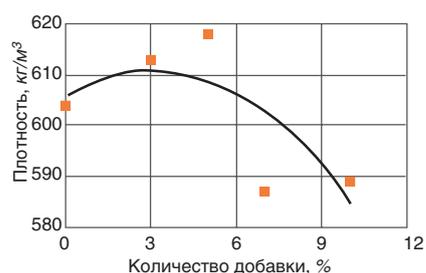


Рис. 9. Изменение плотности газобетона от количества молотого газобетона

Свойства формовочной смеси с добавкой молотого газобетона и корректировкой воды на водопотребность добавки

	Количество добавки молотого газобетона, %			
	0	5	10	15
Водотвердое отношение (В/Т)	0,5	0,528	0,562	0,596
Плотность формовочной смеси, кг/м ³	1870	1750	1667	1679
Расплав, см	30	31	33	33,5

Таблица 2

Как показывают результаты, с увеличением количества добавки наблюдается рост плотности при почти равной истинной плотности песка и молотого кирпича. Изготовление образцов с добавкой молотого газобетона также показало рост плотности (рис. 7).

Добавка вводилась при замене части молотого песка газобетона на более легкую по плотности добавку, но результат – увеличение плотности, как и в случае с молотым кирпичом. Можно предположить перекристаллизацию CSH(I) в тоберморит с изменением плотности с 2,4 на 2,44 г/см³ [9].

По результатам исследований [10] пластификатор С-3, увеличивая расплав, увеличивает плотность растворной смеси. Были изготовлены образцы с пластификаторами. Результаты плотности образцов с использованием добавок пластификаторов представлены на рис. 8.

Как видно из полученных результатов, добавки изменяют подвиж-

ность и плотность изделий. Увеличение плотности при возрастании коэффициента конструктивного качества [2, 4, 5] для газобетона не может являться хорошим результатом.

Авторы [9] утверждают, что снижение плотности достигается за счет увеличения В/Т с 0,5 до 0,7, или при совместном введении пластифицирующей и воздухововлекающей добавок. Исследования [7], при которых минеральный модификатор из опоки и перлита вводился в виде суспензии от доли цемента, не привело к увеличению плотности.

С учетом водопотребности добавки молотого газобетона рассчитано значение В/Т смеси. По полученным значениям В/Т приготовлены замесы и залиты контрольные образцы. Сложность перерасчета состоит в учете водопотребности молотого песка, заменяемого на молотый газобетон другой водопотребности, что и приводит к получению смеси с большей подвижностью и меньшей плотностью при увеличе-

нии количества добавки. Результаты представлены в табл. 2 и рис. 9.

Как видно из рис. 9, результатом корректировки В/Т по водопотребности добавки молотого газобетона в виде сухого порошка в смесь привело не только к получению плотности в допустимых пределах, но и к росту прочности (рис. 10).

Таким образом, на основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- дисперсные добавки и пластификаторы оказывают существенное влияние на прочность и плотность ячеистого бетона;
- дисперсные добавки порошка, вводимые в смесь, влияют на подвижность смеси и В/Т отношение растворной смеси;
- применение дисперсных добавок в виде порошка в смесь требует корректировки В/Т отношения с учетом их водопотребности;
- количество добавки молотого газобетона можно рекомендовать в пределах 5–10%.

Список литературы

1. Бедарев А.А. Влияние пластифицирующих добавок на температурные и вязкопластичные свойства силикатной смеси для производства газосиликата // *Известия КГАСУ*. 2013. № 2. С. 208–214.
2. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Потапова Л.И., Клоков В.В. Комплексная добавка для автоклавного газобетона // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 36–40.
3. Кашапов Р.Р., Красникова Н.М., Хозин В.Г., Галеев А.Ф., Шамсин Д.Р. Комплексная добавка на основе содо-сульфатной смеси // *Известия КГАСУ*, 2015. № 2. С. 239–243.
4. Лаукайтис А.А. Исследование влияния добавки молотых отходов ячеистого бетона на его свойства // *Строительные материалы*. 2004. № 3. С. 33.
5. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н., Клоков В.В., Зигангараева С.Р. Силикатный кирпич и автоклавный газобетон с использованием отходов собственного производства // *Строительные материалы*. 2016. № 4. С. 76–80.
6. Баранов А.А. Ресурсосберегающая технология применения многостадийного способа переработки подрезного слоя. *НПК «Современный автоклавный газобетон». Сборник докладов*. Екатеринбург. 2017. С. 22–26.
7. Нелюбова В.В. Газобетон автоклавного твердения с использованием минеральных модификаторов различного состава. *НПК «Современный автоклавный газобетон». Сборник докладов*. Екатеринбург. 2017. С. 56–61.
8. Леонтьев С.В., Голубев В.А., Сарайкина К.А., Шаманов В.А. Опыт получения автоклавного теплоизоляционного газобетона // *Вестник ЮУрГУ*. 2014. Т. 14. № 1. С. 46–48.
9. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. М.: Эколит, 2011. 243 с.
10. Косых А.В., Лужнова Е.Н., Волобуев Л.С. Комплексная добавка для газозобетона // *Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки*. 2011. Т. 2. С. 135–139.

References

1. Bedarev A.A. Effect of plasticizing additives on the temperature and visco-plastic properties of the silicate mixture for the production of gas silicate. *Izvestiya KGASU*. 2013. No. 2, pp. 208–214. (In Russian).
2. Kuznetsova G.V., Morozova N.N., Potapova L.I., Klokov V.V. A Complex Additive for Autoclaved Concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 36–40. (In Russian).
3. Kashapov R.R., Krasnikova N.M., Khozin V.G., Galeev A.F., Shamsin D.R. Complex additive based on sodosulphate mixture. *Izvestiya KGASU*. 2015. No. 2, pp. 239–243. (In Russian).
4. Laukaitis A.A. Investigation of the effect of the addition of ground waste of cellular concrete on its properties. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2004. No. 3, p. 33. (In Russian).
5. Kuznetsova G.V., Morozova N.N., Klokov V.V., Zigangaraeva S.R. Silicate Brick and Autoclaved Gas Concrete with the Use of Waste of Own Production. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 4, pp. 76–80. (In Russian).
6. Baranov A.A. Resource-saving technology of application of multistage method of processing of undercut layer. Scientific and practical conference "Modern autoclaved aerated concrete". *Collection of reports*. Ekaterinburg. 2017, pp. 22–26. (In Russian).
7. Nelyubova V.V. Autoclaved aerated concrete with the use of mineral modifiers of various composition / Scientific and practical conference "Modern autoclaved aerated concrete". *Collection of reports*. Ekaterinburg. 2017, pp. 56–61. (In Russian).
8. Leont'ev S.V., Golubev V.A., Saraikina K.A., Shamanov V.A. Experience in obtaining autoclave heat-insulating gas concrete. *Vestnik YuUrGU*. 2014. Vol. 14. No. 1, pp. 46–48. (In Russian).
9. Khavkin L.M. *Tekhnologiya silikatnogo kirpicha* [Technology of silica brick]. Moscow: Ekolite, 2011. 243 p.
10. Kosykh A.V., Luzhnova E.N., Volobuev L.S. Complex additive for gas-coal concrete. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i inzhenernye nauki*. 2011. Vol. 2, pp. 135–139. (In Russian).

НОВАЯ КНИГА



Технология гипсовых отделочных материалов и изделий

Федулов А.А., М.: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2018. 240 с.

В книге описано производство гипсовых отделочных материалов и изделий от добычи сырья до упаковки готовой продукции. Особое внимание автор уделяет подробному описанию технологических линий и отдельных единиц оборудования, установленных на передовых предприятиях гипсовой промышленности. В книге представлено большое количество иллюстраций всех технологических переделов, которые помогут глубже представить и понять технологические процессы производства того или иного изделия. Описание технологии каждого вида гипсовых изделий основывается на существующих производственных регламентах предприятий России, Германии и Дании, включая шахты, карьеры, которые автор посещал лично.

Книга предназначена студентам, изучающим производство строительных материалов и конструкций в качестве дополнительного материала по технологии современных гипсовых изделий, а также для инженеров-технологов заводов, производящих гипсовую продукцию в качестве справочного материала.

Заказать литературу можно через редакцию, направив заявку по e-mail: mail@rifsm.ru, или оформить заказ на сайте www.rifsm.ru

В.Н. МОРГУН¹, канд. техн. наук (morgun_vlad@bk.ru); Л.В. МОРГУН², д-р техн. наук (konst-lvm@yandex.ru)

¹ Южный федеральный университет (344006 г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42)

² Донской государственный технический университет (344000, Ростовская обл., г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

Обоснование одного из методов совершенствования структуры пенобетонов

Отражена актуальность развития теории и практики газонаполненных бетонов. Показано, что современное строительное материаловедение до настоящего времени не обладает необходимым объемом знаний, опираясь на которые возможно расчетное проектирование состава пенобетонов. С позиций теории фрактальных кластеров рассмотрены различия в особенностях формирования структуры межпорowych перегородок в пено- и фибропенобетонных смесях. Показано, что длина фибры является важнейшим параметром, предопределяющим размеры формирующихся кластеров в межпорowych перегородках газонаполненного бетона. Именно длина фибры обуславливает повышение плотности межпорowych перегородок и величину пластической прочности в пенобетонных смесях.

Ключевые слова: пенобетон, пенобетонная смесь, пластическая прочность, фрактальный кластер.

Для цитирования: Моргун В.Н., Моргун Л.В. Обоснование одного из методов совершенствования структуры пенобетонов // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 24–26.

V.N. MORGUN, Candidate of Sciences (Engineering) (morgun_vlad@bk.ru); L.V. MORGUN, Doctor of Sciences (Engineering) (konst-lvm@yandex.ru)

¹ Southern Federal University (05/42, Bolshaya Sadovaya Street, Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation)

² Don State Technical University (1, Gagarina Square, Rostov-on-Don, 344010, Russian Federation)

Substantiation of One of the Methods for Improving the Structure of Foam Concretes

The relevance of development of the theory and practice of gas-filled concretes is reflected. It is shown that till now the modern construction materials science doesn't have the necessary volume of knowledge, relying on which the design of the composition of foam concretes is possible. Differences in the features of the formation of the structure of inter-porous partitions in foam- and fibrous foam concrete mixes are considered from the position of the theory of fractal clusters. It is shown that the length of the fiber is the most important parameter that predetermines the sizes of clusters formed in inter-porous partitions of gas-filled concrete. It is the length of the fiber that causes an increase in the density of inter-porous partitions and the value of plastic strength in foam concrete mixtures.

Keywords: foam concrete, foam concrete mix, plastic strength, fractal cluster.

For citation: Morgun V.N., Morgun L.V. Substantiation of one of the methods for improving the structure of foam concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 24–26. (In Russian).

Технологии ячеистых бетонов возникли в начале прошлого века почти случайно [1], однако потребность в строительных изделиях из них с каждым годом все возрастает [2]. Строительство, будучи самой материалоёмкой областью профессиональной деятельности человека, крайне нуждается в развитии этих технологий. Совершенствование технологий портландцемента [3, 4], войны и энергетические кризисы [5] XX и XXI вв. поставили на повестку дня проблему промышленного производства изделий из ячеистых бетонов такого качества, которое могло бы обеспечивать требуемый практикой уровень их эксплуатационных свойств. Тем не менее возможность получения ячеистых бетонов на цементной основе с заданными свойствами при использовании конкретных видов сырья до настоящего времени опирается не на расчетные методы проектирования, а на методики подбора. Это утверждение частично справедливо и для бетонов слитной структуры [6], и полностью для ячеистых бетонов.

Необходимость развития расчетных методов проектирования диктуется потребностями практики [7–9], однако до настоящего времени строительное материаловедение не накопило достаточного объема знаний о закономерностях формирования структуры бетонов, опираясь на которые стало бы возможным создание адекватных математических моделей (расчетных уравнений), удобных для достоверного проектирования состава бетонов с заданными свойствами. Возможность создания таких моделей зависит от результатов системного анализа рецептурных и технологических факторов, управляющих формированием структуры бетона с требуемыми свойствами.

Тот факт, что при изготовлении энергоэффективных и ресурсосберегающих бетонов (пенобетонов) опираются только на результаты лабораторных поисков рецептуры, свидетельствует:

- с одной стороны, о том, что изделия из пенобетонов необходимы строительному комплексу для возведения стен с высоким сопротивлением теплопередаче;
- с другой стороны, о том, что объективного знания о закономерностях формирования их структуры и свойств нужного материала до настоящего времени накоплено недостаточно.

В настоящей работе авторы рассмотрят влияние индивидуальных свойств сырья на возможность получения пенобетонов с улучшенными свойствами.

Для изготовления пенобетонов применяют портландцементы регламентированного минералогического состава. Содержание в них трехкальциевого алюмината C_3A не должно превышать 4%, потому что в течение первого часа контакта с водой удельная поверхность этого минерала увеличивается более чем в 80 раз [10]. Адсорбционная и химическая диспергация клинкерных минералов в составе такой высокообводненной дисперсной системы, как пенобетонная смесь, предопределяет негативное влияние интенсивных массообменных процессов на их структуру, потому что капиллярные и ван-дер-ваальсовы связи, обеспечивающие сцепление элементов структуры пенобетонной смеси, в этот период очень слабы. Кроме того, в структуре дисперсной системы появляются дисперсные частицы нанометрового диапазона, поверхностный энергетический потенциал которых кратно превышает потенциал исходных частиц.

Влияние длины фибры на кинетику пластической прочности пенобетонных смесей

Время нахождения в форме, мин	Пластическая прочность равноплотных смесей (Па) при длине армирующего волокна, мм				Прирост пластической прочности в % по отношению к смеси без фибры		
	без фибры	10	30	60	10	30	60
0	51	57	59	61	11,8	15,7	19,6
15	56	66	78	85	17,9	39,3	51,8
30	60	70	86	95	16,7	43,3	58,3
45	68	77	92	103	13,2	35,3	51,5
60	76	86	114	130	13,2	50	71,1
75	82	89	138	154	8,5	68,3	87,8
90	85	96	151	186	12,9	77,6	118,8
105	92	109	173	212	18,5	88	130,4
120	101	131	198	242	29,7	96	139,6
135	119	176	244	271	47,9	105	127,7
150	140	190	257	316	35,7	83,6	125,7
165	172	234	289	363	36	68	111
180	213	395	475	498	85,4	123	133,8

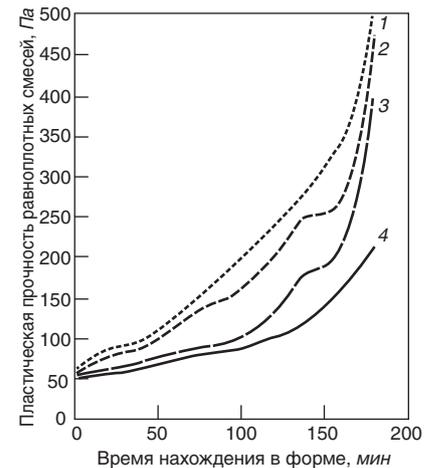
Параллельно с гидратацией клинкерных минералов в пенобетонных смесях, уложенных в формы, развивается процесс формирования кластеров из дисперсных частиц твердой фазы в пространстве перегородок, разделяющих газовые поры [11]. Т. е. имеет место физический процесс сборки кластеров из обводненных твердых дисперсных частиц сырья. Этот процесс идет в условиях воздействия на структуру гравитационных сил, величина которых зависит от плотности и толщины слоя смеси.

Из теории фрактальных кластеров [12] следует, что их плотность и размеры зависят от формы и поверхностных свойств взаимодействующих друг с другом дисперсных частиц. Свойства фрактальных структур в природе предопределяются их инвариантностью к объекту, самоподобным разложением на различных масштабных уровнях, адаптируемостью к энергетическим внешним воздействиям, наличием «памяти» и др. [13]. Реализация фрактального подхода при рассмотрении процессов формирования структуры пенобетонных смесей в зависимости от меры дисперсности и формы сырьевых компонентов твердой фазы позволяет приблизиться к осмыслению закономерностей образования пенобетонов с улучшенными эксплуатационными свойствами. Мы полагаем, что для получения пенобетонов, характеризующихся высокими конструкционными свойствами, необходимо, чтобы в период преобладания вязких связей между частицами твердой фазы возникали технологические условия для образования плотных межпоровых перегородок.

Плотность образований, получаемых в ходе агрегации дисперсных частиц в кластеры, зависит от траектории их движения [14] и формы. Фрактальная размерность (D) всегда меньше или в частном случае может быть равна d – размерности пространства [15]. В технологии пенобетонных смесей размерность пространства, в котором формируются межпоровые перегородки, численно равна их толщине. А в технологии фибропенобе-

Список литературы

- Шахова Л.Д. Технология пенобетона. Теория и практика. М.: АСВ, 2010. 248 с.



Влияние длины фибры на величину и кинетику пластической прочности в равноплотных пенобетонных смесях: 1 – фибра длиной 60 мм; 2 – фибра длиной 10 мм; 3 – фибра длиной 30 мм; 4 – без фибры

тонов размерность пространства регламентируется длиной фибры. Теоретически отсюда следует, что при наличии фибры в рецептуре

смеси в ней должны возникать технологические условия для формирования кластеров более плотных, чем в смесях, не содержащих фибры.

О мере плотности фаз, формирующихся при переходе газонаполненной дисперсной системы из одного состояния в другое, можно судить по кинетике пластической прочности. Поэтому нами была выполнена экспериментальная оценка влияния длины волокнистой дисперсной арматуры при содержании ее 1,5% от объема цементного камня на величину и кинетику пластической прочности равноплотных пенобетонных смесей. Полученные данные представлены в таблице и на рисунке.

Фибра в 1000 раз и более длиннее самой крупной частицы цемента. В структуре пенобетонной смеси она располагается внутри межпоровых перегородок [16]. Энергетический ζ -потенциал фибры в щелочной среде цементного теста достигает -40 мВ [17]. Поэтому положительно заряженные дисперсные частицы твердой фазы будут перемещаться в направлении ее поверхности. С учетом ионного состава цементного теста в рассматриваемый период структурообразования фибра будет выступать как подложка для роста кристаллических гидратных фаз новообразований цементного камня, что подтверждается более высокими значениями пластической прочности в каждый контролируемый период времени (см. рисунок).

Выводы

Опираясь на научное обоснование о взаимосвязи между плотностью фракталов и размерностью пространства, а также на экспериментальные данные о значениях пластической прочности, можно утверждать следующее:

- дисперсное армирование волокнами позволяет совершенствовать структуру пенобетонных смесей путем повышения плотности их межпоровых перегородок;
- мера повышения плотности при прочих равных условиях регулируется длиной фибры.

References

- Shakhova L.D. Tekhnologiya penobetona. Teoriya i praktika [Technology of foam concrete. Theory and practice]. Moscow: ASV. 2010. 248 p.



2. Красникова Н.М., Хозин В.Г. Новый способ изготовления пенобетона // *Известия КазГАСУ*. 2009. № 1 (11). С. 266–272.
3. Бикбау М.Я. Нанотехнологии в производстве цемента. М.: ОАО «Московский институт материаловедения и эффективных технологий», 2008. 768 с.
4. Pellenq R.J.-M., Kushima A., Shahsavari R., van Vliet K.L., Buehler M.J., Yip S., Ulm F.-J. A realistic molecular model of cement hydrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009. Vol. 106, 38, pp. 16102–16107.
5. Гвоздикова В.И. Мировой энергетический кризис и его влияние на энергетику России // *Молодой ученый*. 2017. № 2. С. 388–391. URL <https://moluch.ru/archive/136/38027/> (дата обращения: 18.04.2018).
6. Степанова В.Ф. Долговечность бетона. М.: АСВ, 2014. 126 с.
7. Комохов П.Г. Процессы твердения минеральных вяжущих в аспекте структурной механики бетона. *Современные проблемы строительного материаловедения. Перспективные направления в теории и практике минеральных вяжущих веществ и материалов на их основе: Вторые академические чтения*. РААСН. Казань. Ч. 3. 1996. С. 3–8.
8. Роко М.К., Уильямс Р.С., Аливисатос П. Нанотехнология в ближайшем десятилетии / Под ред. Р.А. Андриевского. М.: Мир, 2002. 287 с.
9. Комохов П.Г. Физика и механика разрушения в процессе формирования прочности цементного камня // *Цемент*. 1991. № 7, 8. С. 4–10.
10. Красильников К.Г., Никитина Л.В., Скоблинская Н.Н. Физикохимия собственных деформаций цементного камня. М.: Стройиздат, 1980. 256 с.
11. Моргун В.Н., Моргун Л.В. Структура межпоровых перегородок в пенобетонных смесях // *Строительные материалы*. 2014. № 4. С. 84–86.
12. Ананьева Е.С., Новиковский Е.А., Ананьев М.И., Маркин В.Б., Ишков А.В. Применение фрактально-кластерного подхода для анализа структуры и прогнозирования свойств полимерных нанокомпозитов // *Ползуновский вестник*. 2012. № 1. С. 10–14.
13. Новиков В.У., Козлов Г.В. Полифрактальность структуры наполненных полимеров // *Пластические массы*. 2004. № 4. С. 27–38.
14. Олемский А.И., Флат А.Я. Использование концепции фрактала в физике конденсированной среды // *Успехи физических наук* 1993. Т. 12. № 163. С. 1–50.
15. Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. М.: Наука, 1991. 136 с.
16. Моргун Л.В. Пенобетон. Ростов н/Д: Рост. госуд. строит. ун-т, 2012. 154 с.
17. Андросов В.Ф. Крашение синтетических волокон. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. 272 с.
2. Krasnikov N.M. Khozin V.G. New method of manufacture of foam concrete. *Izvestiya KazGASU*. 2009. No. 1 (11), pp 266–272 (In Russian).
3. Bikbau M.Ya. Nanotekhnologii v proizvodstve tsementa [Nanotechnology in cement production]. Moscow: Moscow Institute of material science and effective technologies. 2008. 768 p.
4. Pellenq R.J.-M., Kushima A., Shahsavari R., van Vliet K.L., Buehler M.J., Yip S., Ulm F.-J. A realistic molecular model of cement hydrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009. Vol. 106. No. 38, pp. 16102–16107.
5. Gvozdikova V.I. World energy crisis and its impact on the energy of Russia. *Molodoy ucheniy*. 2017. No. 2, pp. 388–391. URL <https://moluch.ru/archive/136/38027/> (date of access: 18.01.2018). (In Russian).
6. Stepanova V.F. Dolgovechnost' betona [Durability of concrete]. Moscow: ASV. 2014. 126 p.
7. Komokhov P.G. Hardening processes of mineral binders in the aspect of structural mechanics of concrete. *Modern problems of building materials. Perspective directions in theory and practice of mineral binders and materials on their basis: Second academic readings*. RAACS. Kazan. Part 3. 1996, pp. 3–8. (In Russian).
8. Roco M.C., Williams R.S., Alivisatos P. Nanotekhnologiya v blizhayshe desyatiletii [Nanotechnology in the next decade]. Ed. by R.A. Andrievskiy. Moscow: Mir. 2002. 287 p.
9. Komokhov P.G. Physics and mechanics of fracture in the formation of the strength of cement stone. *Tsement*. 1991. No. 7, 8, pp. 4–10. (In Russian).
10. Krasilnikov K.G., Nikitina L.V., Skoblinkin N.N. Physical chemistry of their own deformations of the cement stone. Moscow: Stroyizdat. 1980. 256 p.
11. Morgun V.N., Morgun L.V. Structure of interstitial partitions in foam concrete mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 4, pp. 84–86. (In Russian).
12. Ananyeva E.S., Novikov E.A., Anan'ev I.M., Markin V.B., Ishkov A.V. Application of the fractal-cluster approach to analyze the structure and prediction of properties of polymer nanocomposites. *Polzunovskii Vestnik*. 2012. No. 1, pp. 10–14. (In Russian).
13. Novikov V.U., Kozlov G.V. Polyfractanes structure of filled polymers. *Plasticheskie Massy*. 2004. No. 4, pp. 27–38. (In Russian).
14. Olemskoy A.I., Flath A.I. The use of the concept of the fractal in the physics of condensed matter. *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 1993. Vol. 12. No. 163, pp. 1–50. (In Russian).
15. Smirnov B.M. Fizika fraktal'nykh klasterov [Physics of fractal clusters]. Moscow: Nauka. 1991. 136 p.
16. Morgun L.V. Penobeton [Foam Concrete]. Rostov-on-don: Rostov State University of Civil Engineering. 2012. 154 p.
17. Androsov V.F. Dyeing synthetic fibers [The dyeing of synthetic fibers]. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennost'. 1984. 272 p.

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА



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

А.А. КЕТОВ¹, д-р техн. наук (alexander_ketov@mail.ru); В.С. КОРЗАНОВ², канд. хим. наук (kor494@yandex.ru), М.П. КРАСНОВСКИХ², магистр (krasnovskikh@yandex.ru)

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29)

² Пермский государственный национальный исследовательский университет (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15)

Особенности химии газообразования при одностадийном синтезе пеностекла из карбоната и сульфата натрия

Рассмотрены вопросы газообразования при одностадийном синтезе силикатного пеностекла из традиционных для стекловарения соединений натрия – карбоната и сульфата. Методом синхронного термического анализа, совмещенного с масс-спектрометрией, выявлены отличия при силикатообразовании в окислительной и инертной атмосферах. Предполагается, что силикатообразование из сульфата натрия происходит через промежуточное образование сульфита. Установлено, что одностадийное получение пеностекла из сульфата натрия и оксида кремния невозможно по причине протекания реакций силикатообразования при высокой температуре, при которых расплав силиката имеет низкую вязкость и образующиеся газы легко покидают синтезируемое стекло. Определено, что газообразование при синтезе силикатного стекла из карбоната натрия и аморфного оксида кремния может быть использовано для одностадийного вспенивания композиции и получения пеностекла. Показано, что использование аморфного оксида кремния взамен кристаллического приводит к существенному снижению температур силикатообразования и открывает возможность одностадийной технологии пеностекла. Выявлен механизм газообразования для прямого синтеза газонаполненных ячеистых силикатов типа пеностекла из аморфного оксида кремния и карбоната натрия.

Ключевые слова: пеностекло, химический механизм газообразования, синхронный термический анализ.

Для цитирования: Кетов А.А., Корзанов В.С., Красновских М.П. Особенности химии газообразования при одностадийном синтезе пеностекла из карбоната и сульфата натрия // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 27–31.

A.A. KETOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (alexander_ketov@mail.ru);

V.S. KORZANOV², Candidate of Sciences (Chemistry) (kor494@yandex.ru), M.P. KRASNOVSKIKH², Master (krasnovskikh@yandex.ru)

¹ Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky Prospekt, Perm, 614990, Russian Federation)

² Perm State National Research University (15, Bukireva Street, Perm, 614990, Russian Federation)

Peculiarities of Gas Formation in One-Stage Synthesis of Foamed Glass Using Sodium Carbonate and Sodium Sulfate

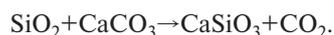
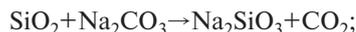
Issues of the gas generation in the one-stage synthesis of silicate foam glass from the traditional glass compounds using sodium carbonate and sodium sulfate are discussed in the article. The differences in silicate formation in oxidative and inert atmospheres were revealed by the method of synchronous thermal analysis combined with mass spectroscopy. The formation of silica from sodium sulfate occurs through the intermediate formation of sulfite is assumed. It is established that the single-stage production of foamed glass from sodium sulfate and silicon oxide is impossible due to the proceeding of silica formation reactions at high temperatures, at which the melt of silicate has a low viscosity, and the gases formed easily leave the formed glass. It is determined that gas generation in the synthesis of silicate glass from sodium carbonate and amorphous silicon oxide can be used for one-stage foaming of the composition and foamed glass preparation. The use of amorphous silicon oxide instead of crystalline one leads to a significant decrease in the temperatures of silica formation and opens up the possibility of one-stage foamed glass technology. The mechanism of gas formation for the direct synthesis of gas-filled cellular silicates, such as foamed glass, from amorphous silica and sodium carbonate is revealed

Keywords: foamed glass, chemical mechanism of gas formation, synchronous thermal analysis.

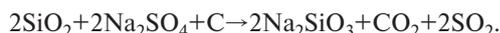
For citation: Ketov A.A., Korzanov V.S., Krasnovskikh M.P. Peculiarities of gas formation in one-stage synthesis of foamed glass using sodium carbonate and sodium sulfate. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 27–31. (In Russian).

В основе синтеза силикатного стекла с древних времен лежит реакция сплавления кварцевого песка с карбонатом или сульфатом натрия и карбонатом кальция [1].

Процесс получения стекла, по сути, является синтезом смешанных силикатов, преимущественно натрия и кальция [2, 3], и может быть описан уравнениями:



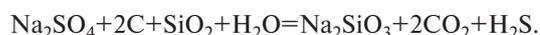
При использовании в качестве сырья сульфата натрия возникает сложность в том, что даже при высокой температуре реакция кремнезема с сульфатом идет очень медленно. Но в присутствии углерода или других восстановителей разложение сульфата и взаимодействие с оксидом кремния значительно ускоряется и описывается суммарным уравнением:



Процесс силикатообразования сложно контролировать по нескольким причинам. Во-первых, силикаты в реальности являются смесью полимерных соединений –

полисиликатов [4], поэтому представленные выше уравнения реакций являются весьма условными и в процессе образуется смесь полисиликатов. В результате состав стекла нельзя рассчитать по правилам стехиометрии. Во-вторых, полученное стекло по определению является ренгеноаморфным, а при отсутствующем в веществе ближнем порядке структурных элементов трудно предсказывать свойства материала. И наконец, в своем составе традиционные силикатные стекла содержат многочисленные примеси. Причем если концентрацию оксидов металлов, например магния, алюминия, железа и других, еще можно прогнозировать исходя из состава исходной шихты и предполагая невысокую летучесть оксидов металлов при высоких температурах, то концентрация неметаллических оксидов, например оксида серы (IV) или оксида бора, изменяется в процессе варки и зависит от условий синтеза стекла [5].

Тем не менее именно на восстановлении серы (VI) в стекле основана реакция газообразования при синтезе пеностекла. По Б.К. Демидовичу [6] процесс описывается следующим образом:



Аналогично считает и автор [7]. В основе этого способа лежит реакция, согласно которой определенный компонент стекла восстанавливается пенообразователем с образованием газов, т. е. восстанавливаемым компонентом стекла обычно бывает сера (VI), находящаяся в стекле, а восстанавливающим — углерод или содержащее его органическое вещество, добавляемое к порошку стекла. Схему можно представить таким образом:



Очевидно, что концентрация серы (VI) в стекле является переменной и варьируется в широких пределах для различных видов стекол [8]. Поэтому использовать в основе химического процесса сырье с нестабильной концентрацией ключевого компонента представляется нецелесообразным. В качестве альтернативы вышеупомянутой реакции газообразования предлагается применять термодеструкцию различных соединений. Не вызывает сомнения, что термическое разложение индивидуальных соединений для решения вопроса газообразования в заданном температурном интервале является более перспективным, чем использование нестабильного содержания серы (IV) в стекле. Например, термическое разложение карбоната кальция для этих целей

описано еще Б.К. Демидовичем, но и поныне карбонат кальция считается эффективным газообразователем [9], включая такие необычные формы этого соединения, как яичная скорлупа [10].

Возможно применение и двухкомпонентных смесей. Обычно используют смесь оксида металла, как окислителя с углеродом, как восстановителем. Например, смесь углерода и оксида железа (III) обеспечивает стабильное газообразование в требуемом интервале температуры [11] или смесь углерода с оксидом марганца Mn_2O_4 [12].

Тем не менее с точки зрения химического материаловедения классический процесс получения газонаполненного стекла выглядит нелогично. Сначала газообразные вещества удаляются из силикатного расплава, а в дальнейшем полученный и охлажденный силикат диспергируется до микронных размеров, чтобы в него добавить посторонние газообразователи и, снова нагревая силикат до термопластичного состояния, вызвать газообразование и вспенивание композиции. Можно предположить, что процессы синтеза силикатного стекла и вспенивание композиции выделяющимися газами могут быть объединены. На практике такое решение описано для прямого синтеза пеностекла из аморфного оксида кремния и гидроксида натрия [13–15]. Можно предположить, что одновременный синтез силиката и вспенивание композиции выделяющимися газами возможны и для традиционных в стекловарении реакций синтеза силиката из карбонатов и сульфатов. Поэтому задачей данной работы было исследование процессов газообразования при взаимодействии оксида кремния с карбонатом натрия и сульфатом натрия с целью прямого синтеза пеностекла.

В ходе настоящего исследования проведен анализ смесей из сульфатов и карбонатов с аморфным и кристаллическим диоксидом кремния с помощью прибора синхронного термического анализа STA 449 F1 производства фирмы NETZSCH (Германия), позволяющего делать термическое исследование образца с одновременной регистрацией термогравиметрических и calorиметрических характеристик. Анализ газовых продуктов проводили на масс-спектрометре QMS 303 CF Aeolos (Германия). Обработку полученных результатов осуществляли на соответствующем приборном программном обеспечении.

Смесь α -кварца с сульфатом натрия и углеродом нагревали со скоростью 20 К/мин до 1450°C в атмосфере аргона и в воздушной атмосфере. Полученные кривые ТГ и ДСК представлены на рис. 1.

Кривые ТГ имеют ступенчатый характер. Первая ступень понижения массы образца, снятого в инертной атмосфере, зафиксированная на кривой ТГ с соответствующими эндотермическими пиками на кривой ДСК, происходит в температурном интервале 100–400°C, что соответствует удалению из смеси адсорбционно связанной и гидратной воды. Это подтверждается широкими пиками на кривой ионного тока с $m/z=18$ (вода) на рис. 2.

Следующая ступень потери массы при нагреве в атмосфере аргона с мак-

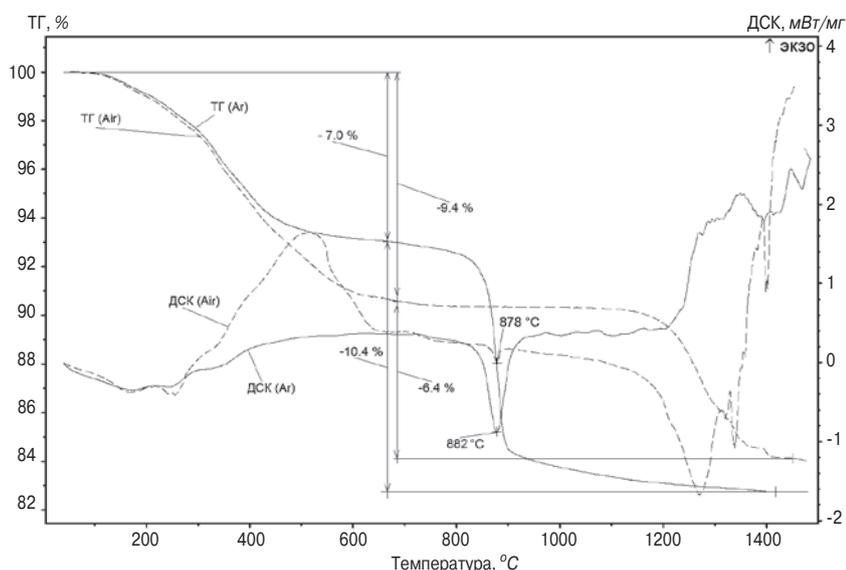


Рис. 1. Результаты синхронного термического анализа смеси α -кварца с сульфатом натрия и углеродом в атмосфере аргона (Ar) и в воздушной атмосфере (Air)

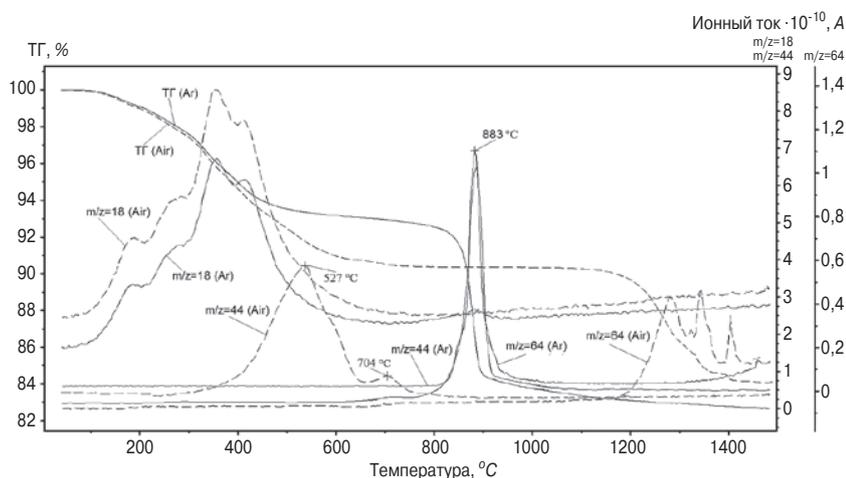
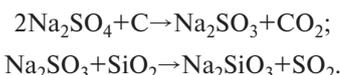


Рис. 2. Зависимость масс-спектральных ионных токов $m/z=18$ (вода), $m/z=44$ (углекислый газ) и $m/z=64$ (сернистый газ) от температуры в атмосфере аргона (Ar) и в воздушной атмосфере (Air) при синхронном термическом анализе смеси α -кварца с сульфатом натрия и с углеродом

симумом скорости разложения сопровождается эндотермическим пиком на кривой ДСК при 882°C. Очевидно, что в этот момент происходит плавление сульфата натрия, который в свою очередь в расплавленном состоянии активно восстанавливается углеродом до сульфита натрия, взаимодействующего с оксидом кремния с образованием силиката натрия и с выделением оксида серы (IV) согласно реакций:



Предполагаемую схему процесса термолиза в инертной атмосфере подтверждают данные совмещенной масс-спектрографии. Ионный ток соединения с $m/z=44$, отнесенного к оксиду углерода (IV), и ионный ток соединения с $m/z=64$, отнесенного к оксиду серы (IV), совпадают и показывают максимум при 883°C, что возможно только при вышеописанном механизме образования силиката.

Несколько иначе происходит термолиз исходной смеси в воздушной атмосфере. Первое значительное понижение массы происходит в диапазоне температуры 100–600°C и объединяет два последовательных процесса. Первоначально, как и при термолизе в инертной атмосфере, происходит удаление из смеси адсорбционно связанной и гидратной воды, это подтверждается эндотермическими пиками на кривой ДСК (рис. 1) и широкими пиками на кривой ионного тока с $m/z=18$ (вода) (рис. 2). Затем происходит окисление имеющегося в системе углерода кислородом воздуха, что сопровождается экзотермическим эффектом, зафиксированным на кривой ДСК с максимумом при 514°C. Окисление углерода кислородом воздуха до углекислого газа подтверждается также данными масс-спектрографии. На кривой ионного тока, отнесенного к углекислому газу ($m/z=44$), фиксируется два пика: один высокой интенсивности с максимумом при 527°C и второй небольшой пик при 704°C.

Далее наблюдается малоинтенсивный эндотермический пик на кривой ДСК при 878°C, соответствующий плавлению сульфата натрия. Поскольку весь углерод, находящийся в образце, окислился ранее, восстановления сульфата натрия и образования оксида серы (IV) при данной температуре не происходит. Оксид серы масс-спектрографически фиксируется только после 1200°C, что подтверждается пиками на кривой ионного тока с $m/z=64$. Очевидно, в окислительной атмосфере расплав сульфата натрия достаточно устойчив к присутствию α -кварца до температуры традиционного стекловарения и образования силиката и выделением оксида серы (IV) не происходит.

Поэтому можно заключить, что одностадийное получение пеностекла из сульфата натрия и кристаллического оксида кремния невозможно по причине протекания реакций силикатообразования при высокой температуре, при которой расплав силиката имеет низкую вязкость и образующиеся газы легко его покидают. В общем же случае для процесса силикатообразования можно

предположить, что образование силиката из α -кварца и сульфата натрия в присутствии угля протекает через стадию предварительного восстановления углеродом расплавленного сульфата натрия до сульфита.

Для другого традиционного компонента стекольной шихты – карбоната натрия процесс силикатообразования выглядит существенно иначе. Кривые ТГ, ДТГ и ДСК и ионных токов для смеси кристаллического диоксида кремния с карбонатом натрия при нагревании со скоростью 20 К/мин до 1100°C в воздушной атмосфере представлены на рис. 3.

Кривая ТГ имеет ступенчатый характер. Первая ступень, зафиксированная на кривой ТГ с соответствующим эндотермическим пиком на кривой ДСК с максимумом потери массы при 100°C, соответствует удалению из смеси адсорбционно связанной и гидратной воды, это подтверждается пиком на кривой ионного тока с $m/z=18$ (вода).

Следующая ступень потери массы (1,73%) с максимумом скорости при 744°C сопровождается слабовыраженным эндотермическим эффектом и может быть соотносена с выделением оксида углерода (IV), что подтверждается пиком на кривой ионного тока с $m/z=44$. Это обстоятельство может быть использовано для вспенивания композиции при температуре, когда материал уже находится в пиропластичном состоянии, т. е. при 650–780°C. Однако именно образования пиропластичного силиката, вероятно, не происходит, потому что при 852°C отчетливо на-

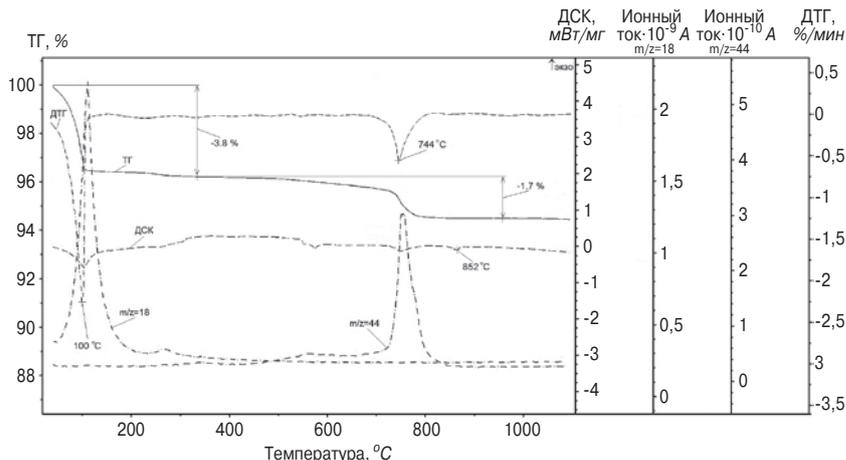


Рис. 3. Результаты синхронного термического анализа смеси α -кварца с карбонатом натрия в воздушной атмосфере

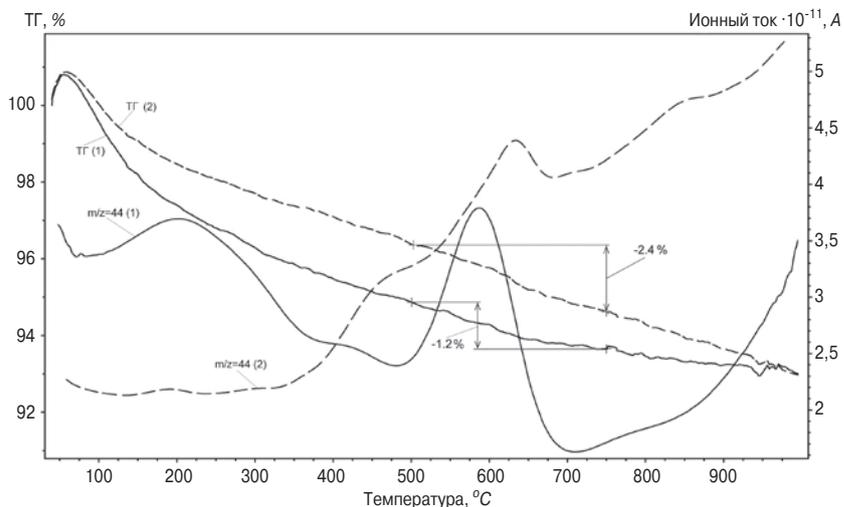


Рис. 4. Результаты синхронного термического анализа смеси аморфного оксида кремния с карбонатом натрия (1) и смеси аморфного оксида кремния с карбонатом натрия и углеродом (2) в воздушной атмосфере

блюдается эндотермический эффект от плавления карбоната натрия, что было бы невозможно при наличии в системе силикатного расплава. Поэтому можно предположить, что, несмотря на очевидное взаимодействие карбоната натрия с α -кварцем при температуре, близкой к 744°C , образующаяся композиция остается в кристаллическом состоянии и поэтому не может быть использована для получения газонаполненных силикатов.

В отличие от кристаллического аморфный оксид кремния может образовывать силикаты пиропластичного типа при сравнительно невысокой температуре [16]. Для изучения процесса проведено термогравиметрическое исследование образцов на основе аморфного оксида кремния. Для этого смесь порошкового силикагеля с карбонатом натрия и такую же смесь с добавлением углерода нагревали со скоростью 20 К/мин до 1100°C в воздушной атмосфере. Полученные кривые ТГ и ионных токов представлены на рис. 4. Кривая ДСК не проказана на рисунке вследствие отсутствия термических эффектов для обоих образцов.

Оба образца медленно теряют массу без явных ступеней, что может быть объяснено медленным, но непрерывным взаимодействием оксида кремния с карбонатом натрия начиная с температуры удаления свободной воды. Соответственно и выделение углекислого газа ($m/z=44$) происходит без резких выбросов и становится более интенсивным выше $450\text{--}500^\circ\text{C}$. На общем вялом фоне выделения углекислого газа можно только отметить широкие пики газообразования при температуре $500\text{--}750^\circ\text{C}$. Именно этот температурный интервал представляет особый интерес с точки зрения синтеза газонаполненных силикатов. Измерения показывают, что в вышеуказанном температурном интервале образец аморфного оксида кремния с карбонатом натрия теряет 1,2 мас. %, а образец смеси аморфного оксида кремния с карбонатом натрия и углеродом — 2,4 мас. %. Очевидно, что количество выделяемого углекислого газа увеличивается при добавлении углерода в систему.

Кроме того, выделение оксида углерода (IV) происходит в сравнительно широком интервале температуры, что может быть объяснено частичным растворением углекислого газа в силикатном расплаве и хорошо согласуется с известными данными [17].

Как видно из результатов приведенного синхронного термического анализа, в случае применения сульфата натрия процесс газообразования в инертной атмосфере в присутствии восстановителя идет в температурном диапазоне $850\text{--}900^\circ\text{C}$, что выше температурного интервала синтеза пеностекла. В воздушной атмосфере все

газообразование происходит в диапазоне температуры традиционной варки стекла, т. е. выше 1200°C . Однако вязкость расплава стекла для обеспечения устойчивого образования пены должна находиться в достаточно узком интервале $10^4\text{--}10^6$ Па·с [18]. В области низкой температуры высокая вязкость стекла препятствует расширению образующихся газов и образованию пены, а при температуре выше указанного интервала газы свободно покидают расплав, не вспенивая его. Поэтому решить задачу одностадийного получения газонаполненных стекол из оксида кремния и сульфата натрия не представляется возможным.

При использовании в качестве исходных компонентов карбоната натрия и кристаллического оксида кремния наблюдается газообразование при 744°C , а для аморфного оксида кремния температура газообразования снижается почти до 600°C . Поэтому процесс разложения карбоната натрия при образовании силиката может быть использован для одностадийного синтеза пеностекла, причем наиболее вероятно, что процесс пойдет с аморфным, а не с кристаллическим оксидом кремния вследствие низкой температуры синтеза, когда образующееся высоковязкое стекло препятствует удалению выделяющихся газов. Принципиальная возможность одностадийного синтеза ячеистых силикатов при использовании карбоната натрия описана в [19].

Дополнительным аргументом в пользу применения реакции разложения карбоната натрия для газообразования может служить сравнительно широкий интервал выделения диоксида углерода, что может быть связано с известным эффектом растворения газа в расплаве и что может способствовать эффективному образованию пены. Следует отметить, что в приведенном исследовании умышленно сделан упор на химические особенности процесса газообразования и не рассматриваются вопросы пиропластичной вязкости синтезируемого стекла.

В результате проведенной работы установлено, что одностадийный синтез пеностекла из оксида кремния и сульфата натрия невозможен вследствие протекания процесса в высокотемпературной области, где вязкость образующегося стекла не может обеспечить удержание газов. Предполагается, что силикатообразование из сульфата натрия происходит через промежуточное образование сульфата.

Установлено, что газообразование при синтезе силикатного стекла из карбоната натрия и оксида кремния аморфного типа принципиально может быть использовано для одностадийного вспенивания композиции и получения пеностекла.

Список литературы

1. Rasmussen S.C. How Glass Changed the World. Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2012. 85 p.
2. Китайгородский И.И. Технология стекла. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1961. 621 с.
3. Paul A. Chemistry of Glasses. Heidelberg: Springer Science & Business Media, 2012. 294 p.
4. Pinkas J. Chemistry of Silicates and Aluminosilicates // *Ceramics—Silikáty*. 2005. № 49. P. 287–298.
5. Бобкова Н.М., Трусова Е.Е. Строение сульфатсодержащих стекол и структурное состояние групп SO_3 в них // *Стекло и керамика*. 2017. № 5. С. 7–11.
6. Демидович Б.К. Пеностекло. Минск: Наука и техника, 1975. 248 с.
7. Шилл Ф. Пеностекло (производство и применение). М.: Стройиздат, 1965. 308 с.
8. Минько Н.И., Биналиев И.М. Роль сульфата натрия в технологии стекла // *Стекло и керамика*. 2012. № 11. С. 3–8.

References

1. Rasmussen S.C. How Glass Changed the World. Heidelberg: Springer Science & Business Media. 2012. 85 p.
2. Kitaygorodskiy I.I. Tekhnologiya stekla [The technology of glass]. Moscow: Stroymaterialy. 1961. 621 p.
3. Paul A. Chemistry of Glasses. Heidelberg: Springer Science & Business Media. 2012. 294 p.
4. Pinkas J. Chemistry of Silicates and Aluminosilicates. *Ceramics—Silikáty*. 2005. No. 49, pp. 287–298.
5. Bobkova N.M., Trusova E.E. Structure of the sulphate-containing glasses and a structural condition of the SO_3 groups inside them. *Steklo i keramika*. 2017. No. 5, pp. 7–11. (In Russian).
6. Demidovich B.K. Penosteklo [Foamed glass]. Minsk: Nauka i tekhnika. 1975. 248 p.
7. Shill F. Penosteklo (proizvodstvo i primeneniye) [Foamglass (production and application)]. Moscow: Stroiizdat. 1965. 308 p.
8. Min'ko N.I., Binaliev I.M. Sodium sulphate role in technology of glass. *Steklo i keramika*. 2012. No. 11, pp. 3–8. (In Russian).

9. Volland S., Vereshchagin V. Cellular glass ceramic materials on the basis of zeolitic rock // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 36. P. 940–946.
10. Souza M.T., Maia B.G.O., Teixeira L.B., de Oliveira K.G., Teixeira A.H.B., Novaes de Oliveira A.P.. Glass foams produced from glass bottles and eggshell wastes // *Process Safety and Environmental Protection*. 2017. Vol. 111. P. 60–64.
11. König J., Petersen R.R., Iversen N., Yue Y. Suppressing the effect of cullet composition on the formation and properties of foamed glass // *Ceramics International*. 2018. Vol. 44. Issue 8.
12. Østergaard M.B., Petersen R.R., König Ja., Yu Y. Effect of alkali phosphate content on foaming of CRT panel glass using Mn_3O_4 and carbon as foaming agents // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2018. Vol. 482. P. 217–222.
13. Rincón A., Giacomello G., Pasetto M., Bernardo E. Novel “inorganic gel casting” process for the manufacturing of glass foams // *Journal of the European Ceramic Society*. 2017. Vol. 37. Issue 5. P. 2227–2234.
14. Кетов А.А. Использование стеклобоя и аморфных силикатов для получения пеностекла и силикатных пеноматериалов // *Техника и технология силикатов*. 2009. Т. 16. № 1. С. 27–31.
15. Вайсман Я.И., Кетов А.А., Кетов П.А. Получение вспененных материалов на основе синтезируемых силикатных стекол // *Журнал прикладной химии*. 2013. Т. 86. № 7. С. 1016–1021.
16. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Семухин Б.С. Структура и прочность пеностеклокристаллических материалов из низкотемпературного стеклогранулята // *Физика и химия стекла*. 2011. Т. 37. № 4. С. 29–37.
17. Bourgue E., Richet P. The effects of dissolved CO_2 on the density and viscosity of silicate melts: a preliminary study // *Earth and Planetary Science Letters*. 2001. Vol. 193. Issues 1–2. P. 57–68.
18. Petersen R.R., König Ja., Yue Y. The viscosity window of the silicate glass foam production // *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2017. Vol. 456. P. 49–54.
19. Liao Yi-Ch., Huang Ch-Y. Glass foam from the mixture of reservoir sediment and Na_2CO_3 // *Ceramics International*. 2012. Vol. 38. Issue 5. P. 4415–4420.
9. Volland S., Vereshchagin V. Cellular glass ceramic materials on the basis of zeolitic rock. *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 36, pp. 940–946.
10. Souza M.T., Maia B.G.O., Teixeira L.B., de Oliveira K.G., Teixeira A.H.B., Novaes de Oliveira A.P.. Glass foams produced from glass bottles and eggshell wastes. *Process Safety and Environmental Protection*. 2017. Vol. 111, pp. 60–64.
11. König J., Petersen R.R., Iversen N., Yue Y. Suppressing the effect of cullet composition on the formation and properties of foamed glass. *Ceramics International*. 2018. Vol. 44. Issue 8.
12. Østergaard M.B., Petersen R.R., König Ja., Yu Y. Effect of alkali phosphate content on foaming of CRT panel glass using Mn_3O_4 and carbon as foaming agent. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2018. Vol. 482, pp. 217–222.
13. Rincón A., Giacomello G., Pasetto M., Bernardo E. Novel “inorganic gel casting” process for the manufacturing of glass foams. *Journal of the European Ceramic Society*. 2017. Vol. 37. Issue 5, pp. 2227–2234.
14. Ketov A.A. Using of a cullet and amorphous silicates for receiving a foamglass and silicate foamed materials. *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2009. Vol. 16. No. 1, pp. 27–31. (In Russian).
15. Vaysman Ya.I., Ketov A.A., Ketov P.A. Receiving of foamed materials on the basis of synthesizable silicate glasses. *Zhurnal prikladnoy khimii*. 2013. Vol. 86. No. 7, pp. 1016–1021. (In Russian).
16. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Semukhin B.S. Structure and durability of the foamed glass-crystal materials made from low-temperature glass granules. *Fizika i khimiya stekla*. 2011. Vol. 37. No. 4, pp. 29–37. (In Russian).
17. Bourgue E., Richet P. The effects of dissolved CO_2 on the density and viscosity of silicate melts: a preliminary study. *Earth and Planetary Science Letters*. 2001. Vol. 193. Issues 1–2, pp. 57–68.
18. Petersen R.R., König Ja., Yue Y. The viscosity window of the silicate glass foam production. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2017. Vol. 456, pp. 49–54.
19. Liao Yi-Ch., Huang Ch-Y. Glass foam from the mixture of reservoir sediment and Na_2CO_3 . *Ceramics International*. 2012. Vol. 38. Issue 5, pp. 4415–4420.



**20–21
сентября
2018 г.**

**Республика Беларусь
г. Минск**

**Оргкомитет:
140050, Московская обл.,
п. Красково,
ул. К. Маркса, д. 117,
РГА**

**Телефон:
+7 8-916-501-36-56**

**E-mail: rga-service@mail.ru
www.rosgipsu**

Российская гипсовая ассоциация
Московский государственный строительный университет
Научно-исследовательский институт строительной физики

**Девятая Международная конференция
«Повышение эффективности производства
и применения гипсовых материалов и изделий»**

Тематика конференции:

- технический прогресс в области гипсовых материалов и изделий (исследования, производство и применение)
- ангидритовые вяжущие
- гипсовые материалы в малоэтажном строительстве
- привлекательность и механизмы инноваций в гипсовой отрасли
- современное оборудование для производства гипсовых вяжущих, материалов и изделий на их основе
- лаборатории, менеджмент качества, экологический менеджмент и их роль в обеспечении качества и долговечности гипсовых материалов
- нормативно-техническая документация в соответствии с современными требованиями
- обучение и переподготовка специалистов в области производства и применения гипсовых материалов и изделий

Генеральный информационный спонсор: журнал **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®**

Е.А. ЧИСТЯКОВ, д-р техн. наук (lab01@mail.ru), С.А. ЗЕНИН, канд. техн. наук,
Р.Ш. ШАРИПОВ (wander-er1@yandex.ru), канд. техн. наук, О.В. КУДИНОВ, инженер

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона им. А.А. Гвоздева (НИИЖБ), АО «НИЦ «Строительство» (109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6)

Армирование монолитных постнатяженных железобетонных конструкций, выполняемых без сцепления арматуры с бетоном

Приводится описание принимаемых технических решений предварительно напряженной арматуры для постнатяженных конструкций (предварительно напряженных конструкций с натяжением арматуры на бетон). Рассматриваются постнатяженные конструкции, в которых арматура не имеет сцепления с бетоном. Вопросы армирования таких конструкций, а также указания по расчету и конструированию монолитных конструкций из тяжелого бетона с натяжением канатной арматуры на бетон в построечных условиях подробно изложены в новом методическом пособии «Конструкции железобетонные монолитные с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном. Правила проектирования». Одним из важных разделов пособия, описываемых в данной статье, является раздел о применяемом армировании постнатяженных железобетонных конструкций. Данное армирование предварительно напряженных конструкций с натяжением на бетон (без сцепления арматуры с бетоном) производят специальными арматурными элементами, которые включают в себя стальные высокопрочные канаты, размещаемые в закрытых гибких пластиковых трубках-каналообразователях. Трубки-каналообразователи содержат защитную смазку. Как правило, применяют канаты высшей категории качества (стабилизированные стальные канаты) из круглой гладкой проволоки (К7) и пластически обжатые канаты из круглой гладкой проволоки (К70). Также рассмотрены существующие технические решения анкеров и муфтовых соединений для таких арматурных элементов.

Ключевые слова: арматурный элемент, постнатяжение, стальные канаты, анкера, железобетон.

Для цитирования: Чистяков Е.А., Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В. Армирование монолитных постнатяженных железобетонных конструкций, выполняемых без сцепления арматуры с бетоном // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 32–37.

E.A. CHISTYAKOV, Doctor of Sciences (Engineering) (lab01@mail.ru), S.A. ZENIN, Candidate of Sciences (Engineering), R.Sh. SHARIPOV (wander-er1@yandex.ru), Candidate of Sciences (Engineering), O.V. KUDINOV, Engineer
Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev (NIIZHB), JSC "Research Center of Construction" (6, 2nd Institut'skaya Street, 109428, Moscow, Russian Federation)

Prestressing Unbonded Tendons for Cast In-Situ Post-Tensioned Reinforced Concrete Members

The description of the adopted technical solutions of prestressing tendons for post-tensioned members is presented. Post-tensioned members in which the prestressing steel has not bond with concrete are considered. Issues of unbonded tendons of such members as well as instructions for design of cast in-situ structures of normal weight concrete with post-tensioning of tendons under the construction conditions are outlined in details in the new methodical manual "Reinforced cast in-situ post-tensioned concrete structures with unbonded tendons. Design Rules". One of the important sections of the manual described in this article is the section about prestressing steel used in post-tensioned concrete structures. These tendons for post-tensioned members (without bond with concrete) are conducted with special prestressing elements which include high-strength steel strands coated with the closed flexible plastic sheaths. Sheaths contain a protective grease. As a rule, strands of the highest level of quality (low relaxation steel strands) made of round smooth wire (K7) and compacted strands made of round smooth wire (K70) are used. The existing technical solutions of anchorages and couplers for such prestressing elements are also considered.

Keywords: prestressing element, post-tensioning, steel strands, anchorages, reinforced concrete.

For citation: Chistyakov E.A., Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V. Prestressing unbonded tendons for cast in-situ post-tensioned reinforced concrete members. *Stroitel'nyye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 32–37. (In Russian).

В 2017 г. в лаборатории № 1 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева по заказу ФАУ ФЦС было разработано пособие «Конструкции железобетонные монолитные с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном. Правила проектирования» [1].

Настоящее методическое пособие, составленное в развитие положений СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», распространяется на проектирование железобетонных предварительно напряженных монолитных конструкций перекрытий с натяжением арматуры на бетон в зданиях жилого и гражданского назначения. Некоторые аспекты применения постнатяженных конструкций без сцепления арматуры с бетоном были рассмотрены в [2–6]. В пособии приведены указания по расчету и конструированию балочных элементов и элементов плит перекрытий, которые выполняют из тяжелого бе-

тона с натяжением канатной арматуры на бетон в построечных условиях. Применяемая канатная арматура в таких конструкциях не имеет сцепления с бетоном.

Одним из важных разделов пособия является раздел о применении специфическом армировании постнатяженных железобетонных конструкций.

На рис. 1 показано принципиальное решение данного армирования.

Армирование предварительно напряженных конструкций с натяжением на бетон (без сцепления арматуры с бетоном) производят арматурными элементами, которые включают в себя стальные высокопрочные канаты, размещаемые в закрытых гибких пластиковых трубках-каналообразователях.

Для предварительно напряженных конструкций с натяжением арматуры на бетон без ее сцепления с бетоном, как правило, применяют канаты высшей катего-

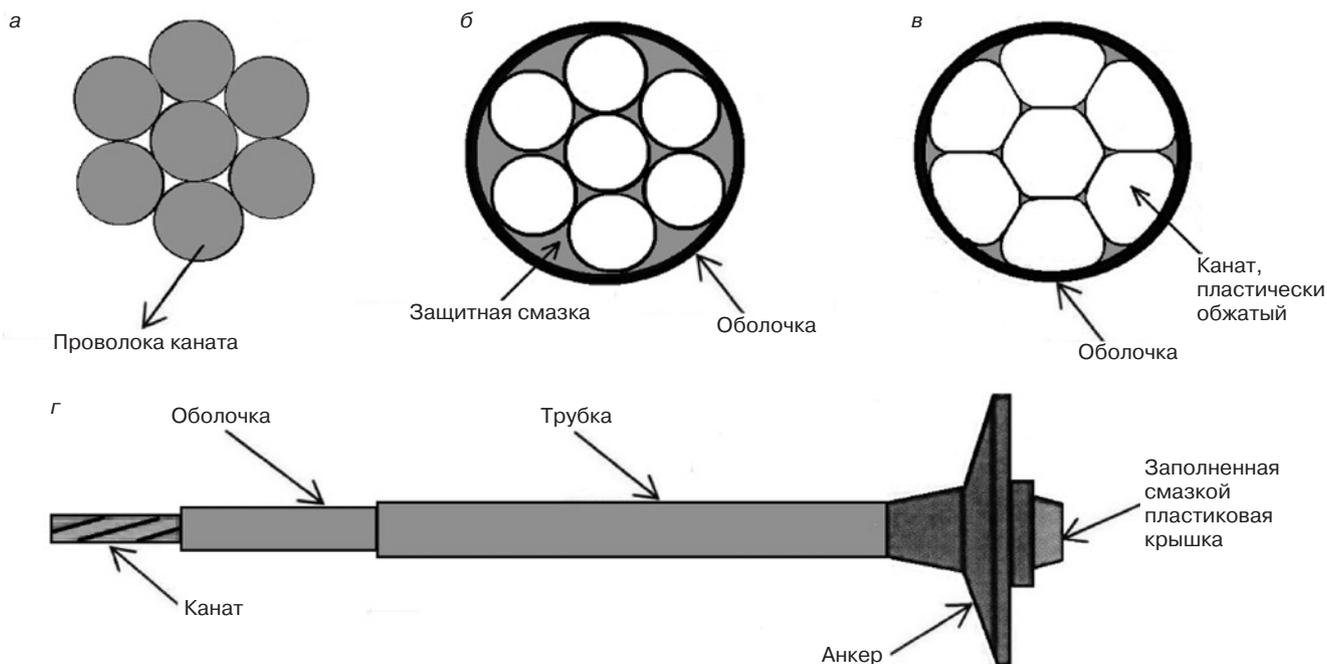


Рис. 1. Принципиальная конструкция арматурных напрягаемых элементов и анкеров для систем без сцепления арматуры с бетоном: а – канат; б – напрягаемый элемент с канатной арматурой; в – напрягаемый элемент с канатной пластически обжатой арматурой; г – анкерный узел

Таблица 1

Механические характеристики канатной арматуры К7 по ГОСТ 13840

Классы по прочности при растяжении	Условный предел текучести $\delta_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление δ_T , МПа	Нормативное сопротивление $R_{s,n}$, МПа	Расчетное сопротивление R_s , МПа	Классы по виду профиля	Классы по релаксации	Номинальные диаметры, мм
1400/1670	1400 (см. примеч. 2)	1670	1400	1215	К7	1; 2	15
1500/1770	1500 (см. примеч. 2)	1770	1500	1300	К7	1; 2	6; 9; 12

Примечания: 1. В обозначениях классов по прочности при растяжении в числителе указан условный предел текучести, а в знаменателе – временное сопротивление. 2. Условный предел текучести $\delta_{0,2}$ для арматурных канатов по ГОСТ 13840 указан при остаточном относительном удлинении 0,2%. 3. Принятые обозначения классов канатов по виду профиля: К7 – изготовленные из круглой гладкой проволоки. 4. Принятые обозначения классов канатов по релаксации: релаксация составляет не более 8 и 2,5% соответственно для классов 1 и 2 при начальной нагрузке 70% от фактического разрывного усилия в течение 1000 ч.

рии качества (стабилизированные стальные канаты) из круглой гладкой проволоки (К7) и пластически обжатые канаты из круглой гладкой проволоки (К7О) (рис. 1), выпускаемые по ГОСТ 53772 «Канаты стальные арматурные 1×7. Технические условия» и частично по ГОСТ 13840–68 «Канаты стальные арматурные семи-проволочные стабилизированные. Технические условия». Данные по классам и механическим свойствам стальных канатов представлены в табл. 1 и 2. В таблицах диаметры канатов, используемые в конструкциях без сцепления с бетоном, обозначены звездочкой.

Указанные канаты имеют минимальный уровень потерь напряжения от релаксации арматуры (не более 2,5% после 1000 ч выдержки при температуре +20°C), что соответствует классу релаксации 2 по табл. 1 и 2.

Каналообразователи выполняют в виде пластиковых трубок гладкого профиля из полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) или полипропилена (ПП). Для их производства запрещается использование пластика на основе соединений хлора.

Каналообразователи имеют кольцевую форму поперечного сечения. Внутренний диаметр трубок равен наружно-

му диаметру канатов. При этом свободное пространство между проволоками канатов, а также между наружным профилем канатов и пластиковой оболочкой полностью заполнено защитной противокоррозионной смазкой.

Защиту канатов выполняют в заводских условиях предприятий метизной промышленности с обеспечением электронного контроля предупреждения образования воздушных полостей, пор и разрывов в смазке.

Нанесение защитной смазки, а также протяжку канатов в каналообразователях производят сразу после завершения термомеханической обработки канатной арматуры.

Каналообразователи проектируют и устанавливают как неизвлекаемые элементы конструкции, при этом в одном каналообразователе размещают только один канат.

Соотношение площади поперечного сечения каналообразователя к площади поперечного сечения каната, как правило, принимают в диапазоне 2–2,5.

Производство арматурных элементов для систем без сцепления с бетоном осуществляется в соответствии с СТО 71915393-ТУ100–2011 «Канаты защищенные и в

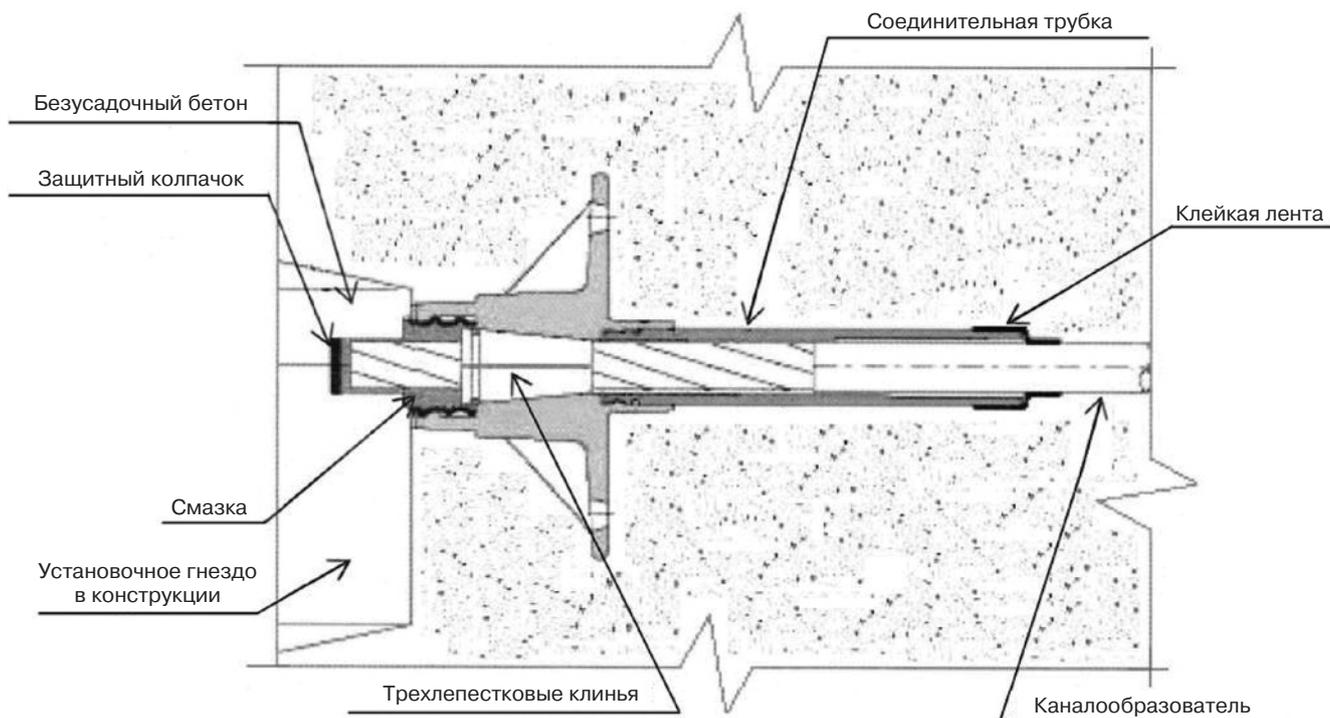


Рис. 2. Техническое решение конструкции активного анкера

Таблица 2

Механические характеристики канатной арматуры К7 по ГОСТ 53772

Классы по прочности при растяжении	Условный предел текучести $\delta_{0,1}$, МПа	Временное сопротивление δ_T , МПа	Нормативное сопротивление $R_{s,n}$, МПа	Расчетное сопротивление R_s , МПа	Классы по виду профиля	Классы по релаксации	Диаметры, мм
1450/1670	1450	1670	1450	1260	К7	2	15,2
1550/1770	1550	770	1550	1350	К7	2	6,9; 9; 9,3; 9,6; 11; 12,5*; 12,7; 12,9*; 15,2*; 15,7*; 18
1600/1820	1600	1820	1600	1390	К7О	2	15,2*
1650/1860	1650	1860	1650	1435	К7	2	6,9; 9; 9,3; 9,6; 11; 12,5*; 12,7; 12,9*; 15,2*; 15,7*
1740/1960	1740	1960	1740	1515	К7О	2	12,7; 15,2*
1840/2060	1840	2060	1840	1600	К7	2	9,0; 9,3
1920/2160	1920	2160	1920	1670	К7	2	6,9

Примечания: 1. В обозначениях классов по прочности на растяжение в числителе указан условный предел текучести, в знаменателе – временное сопротивление. 2. Принятые обозначения классов канатов по виду профиля: К7 – изготовленные из круглой гладкой проволоки; К7О – пластически обжатые, изготовленные из гладкой проволоки. 3. Принятые обозначения классов канатов по релаксации: релаксация составляет не более 8 и 2,5% соответственно для классов 1 и 2 при начальной нагрузке 70% от фактического разрывного усилия в течение 1000 ч. 4. Знаком * обозначены диаметры, используемые для производства канатов в защитной оболочке по СТО 71915393-ТУ100–2011 для систем с натяжением арматуры на бетон без сцепления арматуры с бетоном.

оболочке для предварительного напряжения. Скользящие канаты. Технические условия». В табл. 3 представлена номенклатура производимых в России арматурных элементов в защитной оболочке согласно указанному документу. В настоящее время заканчиваются работы по переводу документа СТО в ранг ГОСТ Р.

В зарубежных странах такая арматура производится с учетом соответствующих стандартов, например [7–9], ведущими производителями, а проектирование постна-

пряженных конструкций с указанной арматурой выполняются в соответствии с указаниями [10, 11].

Допускается при соответствующем технико-экономическом и расчетном обосновании применение в арматурных элементах канатной арматуры первой категории качества по ГОСТ 13840.

Номинальный диаметр арматурных канатов принимают от 12,5 до 15,7 мм, а диаметр арматурных элементов (с учетом каналообразователя) – не более 20 мм.

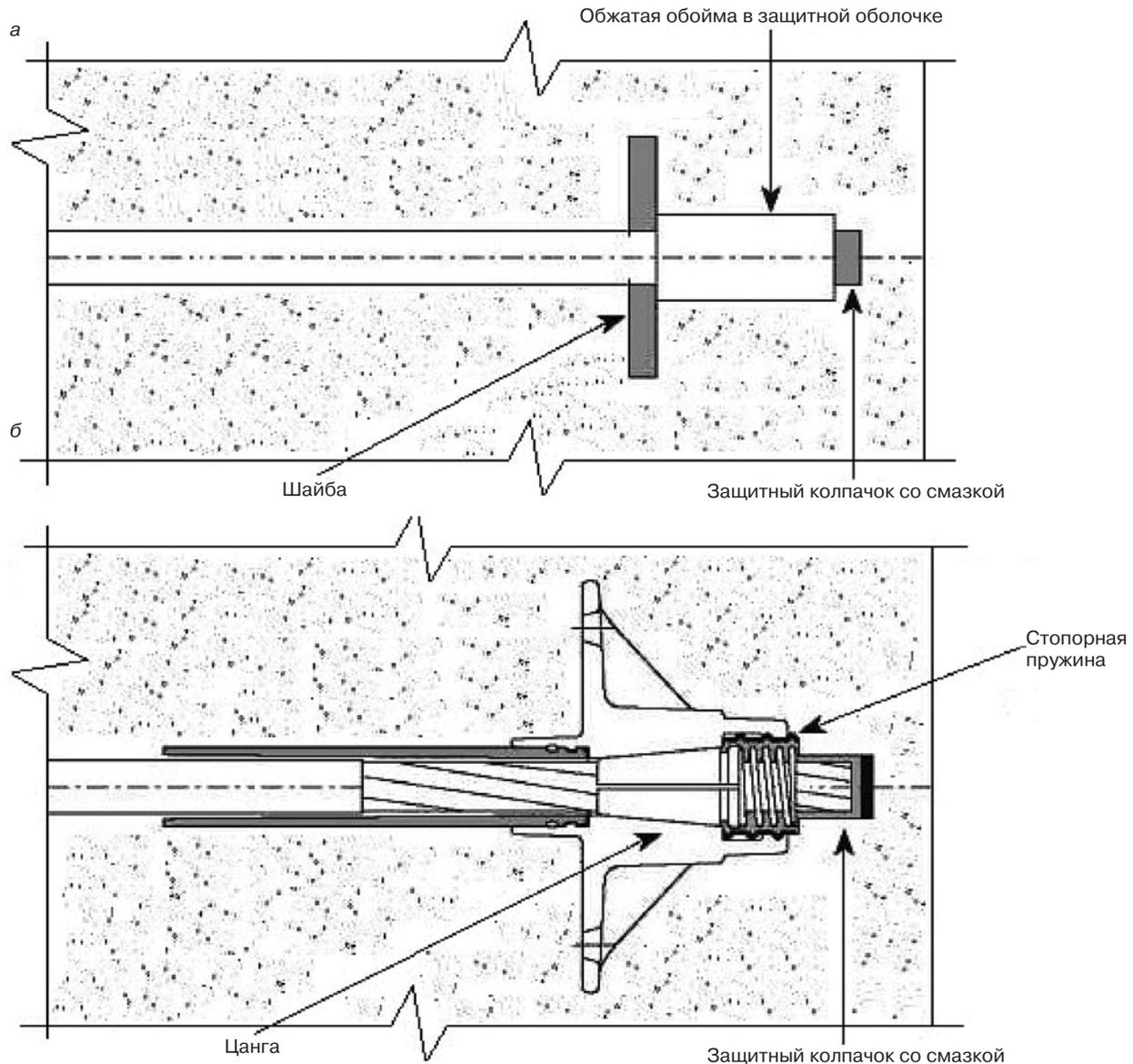


Рис. 3. Технические решения конструкций пассивных анкеров: а – на основе обжатых обойм; б – на основе цанговых зажимов

Для фиксации данной арматуры по торцам конструкций используют механические анкерные крепления, а для стыкования арматурных канатов по длине – соединительные муфты.

Механические анкерные крепления используют для передачи усилия предварительного напряжения арматуры на бетон конструкции. Указанные крепления применяют разнообразной конструкции. У концов каждого напрягаемого арматурного элемента устанавливают два анкера, активный и пассивный.

Пассивный анкер располагают со стороны напрягаемого арматурного элемента, противоположной размещению гидродомкрата. Активный анкер – это анкер, который располагают со стороны гидродомкрата для передачи усилия натяжения на бетон после завершения натяжения и снятия гидродомкрата.

Принципиальная конструкция активного анкера представлена на рис. 2, а конструкция пассивных анкеров – на рис. 3.

Как следует из рис. 3, б, пассивный и активный анкера в принципе могут иметь одинаковую конструкцию.

Отличие состоит в полной изоляции пассивного анкера в бетоне конструкции. У активного анкера опорная

поверхность открыта для установки гидродомкрата и натяжения арматуры, но после осуществления натяжения и фиксации арматурных канатов в цанговых зажимах активный анкер должен быть надежно защищен от возможных коррозионных повреждений.

В общем виде конструкция активных анкеров представляет собой литую прямоугольную или круглую стальную распределительную деталь с круглой полостью для пропуска в ней конца арматурного каната, защитную трубку и цангу в виде трехлепестковых клиньев. Сами цанги размещают в специальных гнездах-углублениях на торцах конструкций. Указанные гнезда проектируют таким образом, чтобы после их обетонирования была обеспечена необходимая толщина защитного слоя бетона до цанг и распределительных деталей.

После осуществления натяжения излишнюю часть арматуры обрезают и производят защиту анкеров. Защиту анкеров и выступающих частей канатов производят в два последовательных этапа. На первом этапе защиту выполняют путем устройства защитных покрытий в виде полимерных пленок, смазок и защитных колпачков. На втором этапе пассивные анкера полностью омоноличивают, а активные – частично, при бето-

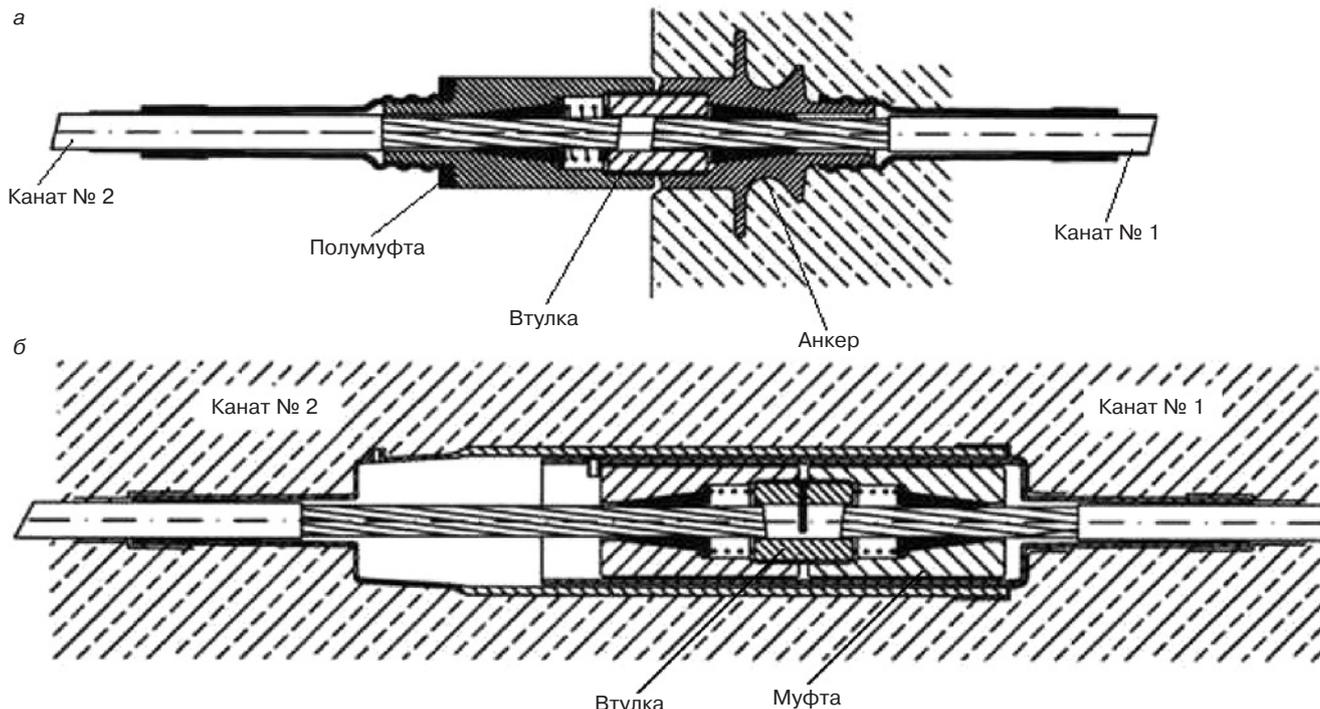


Рис. 4. Конструкция муфт на примере технических решений фирмы «Дивидиаг» [10]: а – муфта фиксированного положения; б – подвижная муфта

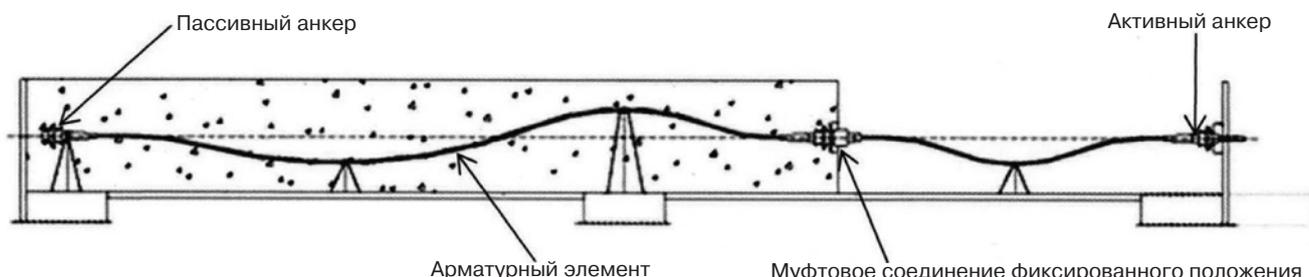


Рис. 5. Устройство муфтового соединения в стыках смежных захваток монолитных конструкций

Номенклатура напрягаемых арматурных элементов

Таблица 3

Условное обозначение арматурных элементов	Номинальный диаметр каната, мм	Номинальная площадь поперечного сечения, мм ²	Внешний диаметр оболочки, мм	
			минимальный	максимальный
K7-12,5-1550/1770-TU100	12,5	93	14,5	15,9
K7-12,9-1550/1770-TU100	12,9	100	14,9	16,3
K7-15,2-1550/1770-TU100	15,2	139	18,2	19,4
K7-15,7-1550/1770-TU100	15,7	150	18,7	19,9
K7O-15,2-1600/1820-TU100	15,2	165	18,2	19,4
K7-12,5-1650/1860-TU100	12,5	93	14,5	15,9
K7-12,9-1650/1860-TU100	12,9	100	14,9	16,3
K7-15,2-1650/1860-TU100	15,2	139	18,2	19,4
K7O-15,2-1650/1860-TU100	15,2	165	18,2	19,4
K7-15,7-1650/1860-TU100	15,7	150	18,7	19,9

Примечание. Применение пластически обжатых канатов K7O допускается только при специальном обосновании.

нировании самой конструкции. После завершения натяжения арматуры производят омоноличивание установочных гнезд активных анкеров (рис. 2).

В отдельных случаях пассивный анкер образуют из конечного участка канатной арматуры путем распушения и изгиба отдельных проволок каната с помощью специального оборудования.

Как уже указывалось, в ряде случаев применяют соединения арматурных элементов по длине с использованием муфт. Конструктивно муфты выполняют с фиксированным положением и подвижными. Муфты с фиксированным положением образуют стыкованием активного анкера (с натянутым и закрепленным в нем арматурным элементом) и полумуфты.

Стыкование производят втулкой с резьбовым соединением (рис. 4, а).

Муфты с фиксированным положением устраивают в стыках смежных захваток поэтапно бетонизируемых и предварительно напрягаемых плит (рис. 5).

Подвижные муфты образуют стыкованием двух полумуфт втулкой с резьбовым соединением (рис. 4, б). Подвижные муфты применяют для стыкования арматурных элементов по длине конструкций.

Анкеры и муфты проектируют таким образом, чтобы была обеспечена прочность бетона на смятие под опорными поверхностями анкеров при натяжении арматуры, а также чтобы не происходило образование продольных трещин от раскалывания бетона сосредоточенным усилием обжатия.

Все элементы анкеров и муфт должны удовлетворять требованиям по прочности и коррозионной стойкости.

Выводы

1. Среди постнапряженных железобетонных конструкций в последнее время получили широкое распространение монолитные конструкции с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном. В таких конструкциях не производят инъектирования каналов и арматура не имеет сцепления с бетоном на протяжении всего цикла эксплуатации конструкций. Особенности проектирования данных конструкций и применения предварительно напряженной арматуры для них изложены в разработанном в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева методическом пособии [1].

2. Для внедрения постнапряженных железобетонных конструкций с арматурой без сцепления с бетоном в Российской Федерации созданы соответствующие условия, в числе которых одними из главных являются налаженное промышленное производство высокопрочных стабилизированных арматурных канатов в защитной оболочке, а также наличие нового нормативного документа [1] по проектированию таких конструкций.

3. Представляется необходимым дальнейшее развитие нормативной базы проектирования постнапряженных железобетонных конструкций в части разработки стандартов на муфтовые соединения и стандартов на анкеры для арматурных элементов.

Список литературы

1. Методическое пособие «Конструкции железобетонные монолитные с напрягаемой арматурой без сцепления с бетоном. Правила проектирования». М.: ФАУ ФЦС Минстроя России, 2017. 108 с. https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp53_2017.pdf
2. Шарипов Р.Ш., Зенин С.А., Кудинов О.В. Проблемы расчета предварительно напряженных железобетонных конструкций без сцепления арматуры с бетоном по первой и второй группам предельных состояний и способы их решения // *Academia. Архитектура и строительство*. 2017. № 1. С. 129–132.
3. Зенин С.А., Шарипов Р.Ш., Кудинов О.В., Семенов В.А. Статический расчет элементов конструктивных систем с постнапряженными перекрытиями без сцепления арматуры с бетоном // *Строительная механика и расчет сооружений*. 2017. № 4 (273). С. 11–16.
4. Матар П.Ю., Баркая Т.Р., Бровкин А.В., Демидов А.В. Потери предварительного напряжения в постнапряженных железобетонных конструкциях без сцепления арматуры с бетоном // *Бетон и железобетон*. 2015. № 6. С. 10–15.
5. Кишиневская Е.В., Ватин Н.И., Кузнецов В.Д. Усиление строительных конструкций с использованием постнапряженного железобетона // *Инженерно-строительный журнал*. 2009. № 3. С. 29–32.

6. Поликарпов Д.Е. Предварительно-напряженные железобетонные конструкции с натяжением арматуры на бетон. *Региональный строительный комплекс: проблемы и перспективы развития в современных условиях: Сборник материалов региональной научно-практической конференции*. Восточно-Европейский институт, Научно-исследовательский институт «Строительная лаборатория», Союз строителей Удмуртской Республики. 2016. С. 91–95.
7. ACI 423.7-07. Specification for unbounded single-strand tendon. American Concrete Institute. Farmington Hills. USA. 2008.
8. Integrated solutions for building prestressing by post-tensioning. Freyssinet Report CIII 2, 2012.
9. Dywidag-Systems International. Post-Tensioning Kit for Prestressing of Structures with Unbonded Monostrands for Concrete (1 to 5 Monostrands), 2009.
10. European committee for standardization. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1. General rules and rules for buildings.
11. ACI 423.3R-05. Recommendations for concrete members prestressed with unbonded tendons. American Concrete Institute. Farmington Hills. USA. 2005.

References

1. Methodical Manual “Post-tensioned concrete structures with unbonded tendons. Design rules». Moscow: FAU FTsS Minstroya Rossii, 2017. 108 p. https://www.faufcc.ru/upload/methodical_materials/mp53_2017.pdf
2. Sharipov R.Sh., Zenin S.A., Kudinov O.V. Problems of analysis of post-tensioned concrete structures with unbonded tendons of the first and second groups of limit states and solutions. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo*. 2017. No. 1, pp. 129–132. (In Russian).
3. Zenin S.A., Sharipov R.Sh., Kudinov O.V., Semyonov V.A. Static analysis of members of structural systems with post-tensioned concrete floors having unbonded tendons. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenii*. 2017. No. 4 (273), pp. 11–16. (In Russian).
4. Matar P.Yu., Barkaya T.R., Brovkin A.V., Demidov A.V. Losses of prestressing in post-tensioned reinforced concrete structures without adhesion of reinforcement to concrete. *Beton i zhelezobeton*. 2015. No. 6, pp. 10–15. (In Russian).
5. Kishinevskaya E.V., Vatin N.I., Kuznetsov V.D. Strengthening of building structures using post-tensioned reinforced concrete. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal*. 2009. No. 3, pp. 29–32. (In Russian).
6. Polikarpov D.E. Pre-stressed reinforced concrete structures with reinforcement tension on concrete. *Regional building complex: problems and development prospects in modern conditions Collection of materials of the regional scientific and practical conference*. East European Institute, Research Institute “Construction Laboratory”, Union of Builders of the Udmurt Republic. 2016. pp. 91–95. (In Russian).
7. ACI 423.7-07. Specification for unbounded single-strand tendon. American Concrete Institute. Farmington Hills. USA. 2008.
8. Integrated solutions for building prestressing by post-tensioning. Freyssinet Report CIII 2, 2012.
9. Dywidag-Systems International. Post-Tensioning Kit for Prestressing of Structures with Unbonded Monostrands for Concrete (1 to 5 Monostrands), 2009.
10. European committee for standardization. EN 1992-1-1. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1. General rules and rules for buildings.
11. ACI 423.3R-05. Recommendations for concrete members prestressed with unbonded tendons. American Concrete Institute. Farmington Hills. USA. 2005.

Фирма Straits Construction Group (Сингапур) запустила высокоавтоматизированное производство сборных бетонных элементов. На пяти уровнях здания завода изготавливаются стеновые панели, плиты перекрытия, предварительно напряженные монолитные перекрытия и блок-модули объемом 80550 м³/год.

Пять этажей производства сборных бетонных элементов

На земельном участке площадью 20 тыс. м² фирма Straits Construction возвела двенадцатиэтажный административно-бытовой корпус (на переднем плане) и пятиэтажный завод сборных бетонных элементов с прилегающим многоярусным складом

По инициативе правительства высокоавтоматизированные заводы сборных бетонных элементов должны полностью преобразить строительную отрасль в Сингапуре. Девиз: отойти от традиционного строительства, требующего больших затрат рабочей силы и времени, и двигаться в сторону максимального увеличения заводского изготовления конструкций. Компания Straits Construction Group, одно из крупнейших строительных предприятий Сингапура, недавно ввела в эксплуатацию такую производственную линию. На ней изготавливаются не только стеновые панели и плиты перекрытия, но и предварительно напряженные монолитные перекрытия, а также готовые трехмерные модули кухонь и ванн на пяти уровнях здания одного завода. Для эксплуатации завода было образовано дочернее предприятие Greyform Pte Ltd. Соответствующие производственные линии и программные решения были разработаны предприятием, входящим в Progress Group. Главную ответственность за общую концепцию и установку взяло на себя дочернее предприятие Ebawe Anlagentechnik.

Уже на протяжении нескольких лет Сингапур продвигает индустриализацию и автоматизацию строительной отрасли с помощью многочисленных директив и стимулов. Целью города-государства является оптимизация

землепользования, повышение производительности и качества в строительной отрасли, создание новых высококвалифицированных рабочих мест.

В этом контексте технология сборного бетона приобретает особое значение. Так, государственное строительное ведомство Building and Construction Authority (BCA) поощряет инвестиции строительных предприятий в эту перспективную технологию: в рамках конкурсных торгов предоставляется земля под строительство высокоавтоматизированных производственных линий и объявляются тендеры на разработку проектов, которые затем реализуются частными предприятиями. Такие заводы, называемые объединенными комплексами сборного строительства (Integrated Construction and Prefabrication Hub, ICPH), должны способствовать быстрому, экономичному и безопасному возведению новых жилых помещений и тем самым обновлению инфраструктуры в ближайшие годы и десятилетия.

Здание для производства с прилегающим многоярусным складом для стеновых панелей и плит перекрытия является уникальным по своей концепции и форме. На первом этаже установлена линия циркуляции поддонов на которой применяется автоматизированная робототехника фирмы Ebawe Anlagentechnik и

производственные линии фирмы Echo Precast Engineering для изготовления предварительно напряженных ЖБИ. Весь второй этаж занимает оборудование фирмы Progress Maschinen & Automation для производства арматуры, а на третьем этаже разместились опалубочные системы для стационарного производства от фирмы Tecnosom. На четвертом этаже изготавливаются блоки кухонь и ванн, которые затем отправляются на склад, расположенный на пятом, последнем этаже.

По линии циркулирует в общей сложности 48 поддонов. В начале каждого производственного цикла опалубочно-распалубочный робот Form Master укомплектовывает их соответствующими опалубочными профилями. После укладки арматуры и закладных деталей из автоматического бетонораздатчика адресно подается бетонная смесь и затем уплотняется. Выглаживающий вибробрус обеспечивает оптимальное качество поверхности сборного элемента. После этого бетонные элементы с помощью стеллажного штабелера поднимаются на одну из 38 стеллажных полок для отверждения. После снятия готовых стеновых панелей или плит перекрытия и их последующего перемещения на многоярусный склад опалубочные профили удаляются с поддона с помо-

щью распалубочного робота, очищаются и автоматически отправляются на хранение. Новый производственный цикл начинается с очистки поддона.

Подача бетонной смеси на линию циркуляции осуществляется тоже автоматически. От смесительной установки, изготовленной фирмой Wiggert & Co. GmbH, по линии адресной подачи материал поступает напрямую к бетоно-раздатчику. Вторая система адресной подачи обеспечивает подачу более сухой бетонной смеси на слипформер.

Особенностью производственной линии является многоярусный склад. По причине недостатка площадей в Сингапуре склад спроектирован не по горизонтали, как обычно, а по вертикали. Он полностью автоматизирован и в трех башнях на семи различных уровнях располагает местом для хранения 5,8 тыс. т монолитных стеновых панелей и плит перекрытия, преднапряженных элементов и перекрытий из предварительно напряженного бетона. Погрузка и разгрузка на складе осуществляется не по отдельным бетонным элементам, а целыми стеллажами. Это существенно сокращает время простоя грузовиков в ожидании, а вместе с этим и сроки поставки.

Такая степень автоматизации оказывает значительное влияние на производительность оборудования. По словам зам. ген. директора Р. Лима 60 работников за 10 дней в состоянии произвести сборные бетонные элементы для 48 четырехкомнатных квартир. На традиционной строительной площадке для этого понадобилось бы в три-четыре раза больше работников и в два раза больше времени.

Для производства предварительно напряженных сборных железобетонных элементов фирма Greyform использует **слипформер S-Liner T40 от Echo Precast Engineering.** С помощью трех различных опалубочных комплектов на трех производственных дорожках длиной 84 м могут изготавливаться не только перекрытия из предварительно напряженного бетона высотой 7–40 см и шириной 120 или 240 см, но и предварительно напряженные монолитные перекрытия с высотой 7–20 см и шириной 100 или 210 см. Линию дополняет такое оборудование, как две различные распиловочные машины, многофункциональная вагонетка и соответствующий подъемный механизм.

Изготовление более 100 т арматурных сеток, каркасов, стержней и хомутов в сутки осуществляется на втором этаже. Машина для сварки арматурной сетки серии M-System Evolution используется для изготовления арма-

турных сеток самых разных форм, в том числе с загибами, и идеально вписывается в схему производства фирмы Greyform. Готовые арматурные сетки с помощью крана автоматически укладываются в накопитель, откуда подаются на линию циркуляции поддонов.

Арматурные прямые стержни, стержни с загибами, обычные и трехмерные хомуты изготавливаются на второй машине – гибочном станке EBA S16 Plus 3D.

В дополнение к трем опалубочным коробам для лестниц в сотрудничестве с североитальянским производителем Bathsystem S.p. A., специализирующимся на производстве готовых модулей ваннных комнат на третьем этаже установлены четыре трехмерные опалубочные формы, столы для производства модулей ваннных и кухонь. Опалубочные формы высотой 2,8 м отличаются высокой степенью эксплуатационной гибкости, поскольку имеется возможность регулировки как бортовой опалубки, так и плиты основания. Благодаря этому можно изготавливать трехмерные элементы различных размеров. Каждый модуль составляется из двух частей, которые собираются на производственном столе и дополняются плитой основания.

За счет того, что степень предварительной готовности модулей кухонь и ваннных комнат достигает 90%, расходы существенно снижаются. Еще на этапе производства на заводе Greyform в модули устанавливается сантехника, электрооборудование и мебелировка. Таким образом, предприятие может соблюдать предписанную государственным строительным ведомством квоту готовых сборных модулей ваннных комнат, которая составляет 65%.

Программное обеспечение играет важную роль в обеспечении оптимального протекания производственных процессов. Системы управления производством (MES) e^{Pro}bos[®] и ProFit, разработанные фирмой Progress Software Development, непрерывно и во всех аспектах сопровождают технологический процесс на линии циркуляции поддонов и производства арматуры, заменяя множество частичных программных решений. Таким образом, отпадают трудности согласования различных программ и операторы могут осуществлять управление всем рабочим процессом в одной единой системе, удобной для пользователя. В качестве главной системы планирования ресурсов (ERP) была установлена e^{Pro}bos[®], специально разработанное программное решение для промышленности сборного бетона.



PROGRESS GROUP GmbH | The Squire 15 Am Flughafen | DE-60549 Frankfurt am Main
www.progress-group.info | +49 6977 044 044

УДК 691.56:666.971

В.С. ГРЫЗЛОВ, д-р техн. наук (gryvs@mail.ru), Д.В. ЗАВЬЯЛОВА, инженер
Череповецкий государственный университет (162600, г. Череповец, пр. Луначарского, 5)

Отсев дробления шлакового щебня как эффективный компонент бетона

Представлены результаты экспериментальных исследований по применению отсева шлакового щебня в качестве минеральной тонкомолотой добавки и заполнителя в мелкозернистых конструкционных бетонах. Установлен рациональный состав тонкомолотой добавки при совместном помоле гранулированного доменного шлака и отсева щебня. Приведены составы мелкозернистых бетонов, рекомендованные для производства изделий методом безопалубочного формования. Показано, что проведенные исследования помогут рационально использовать отсева шлакового щебня при производстве мелкозернистых шлакобетонов с пониженной теплопроводностью.

Ключевые слова: отсев шлакового щебня, тонкомолотая добавка, мелкозернистый бетон, прочность, теплопроводность, ресурсоэффективность, ресурсосбережение.

Для цитирования: Грызлов В.С., Завьялова Д.В. Отсев дробления шлакового щебня как эффективный компонент бетона // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 40–43.

V.S. GRYZLOV, Doctor of Sciences (Engineering) (gryvs@mail.ru), D.V. ZAVIALOVA, Engineer
Cherepovets State University (6, Lunacharsky prospect, 162600, Cherepovets, Russian Federation)

Screenings of Crushing of Broken Slag as an Efficient Component of Concrete

Results of the experimental research concerning the use of chippings of slag stone as a mineral finely ground additive and a filler in fine structural concretes are presented. The rational composition of the finely ground additive in the course of the joint grinding of granulated blast furnace slag and gravel screenings was established. Compositions of fine concretes recommended for producing products by the method of off-formwork forming are presented. It is shown that the research conducted will help to rationally use the screenings of slag stone when producing fine slag concrete with reduced heat conductivity.

Keywords: screenings of crushed slag stone, finely ground additive, fine concrete, strength, heat conductivity, resource efficiency, resource saving.

For citation: Gryzlov V.S., Zaviylova D.V. Screenings of crushing of broken slag as an efficient component of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 40–43. (In Russian).

Проблема использования отходов металлургической промышленности остается актуальной в настоящее время [1]. Продукты переработки металлургических шлаков по-прежнему являются востребованными в качестве компонентов многих строительных материалов. Наиболее емко данные продукты нашли применение в производстве бетонов различного назначения, где они используются как заполнители, вяжущие, минеральные тонкомолотые добавки [3–8]. И хотя область теоретических и экспериментальных исследований шлакобетонов глубоко проработана, остаются вопросы, требующие дополнительного изучения, особенно с позиции ресурсоэнергетической эффективности [1, 3]. Одним из таких вопросов является применение в бетонах отсева (фр. <5 мм) при производстве фракционированного шлакового щебня, который пока не нашел широкого использования в строительной практике [9–11].

На Череповецком металлургическом комбинате накоплен значительный объем данного отсева, получаемого в процессе производства шлакового щебня и разделения его на фракции (5–20, 20–40, 40–70 и более). Примерный выход отсева составляет 0,2–0,3 м³ на 1 м³ щебня. Использование отсева крайне ограничено из-за отсутствия сертификатов и технологических регламентов.

На кафедре строительства Череповецкого государственного университета были проведены специальные

исследования по определению области применения шлакового отсева в бетонах.

На первом этапе сделана оценка фракционного состава и физико-химических характеристик в сравнении с традиционно выпускаемым шлаковым щебнем и гранулированным доменным шлаком (табл. 1, 2). Оценка показала, что данный материал соответствует требованиям ГОСТ 31424–2010 «Материалы строительные нерудные из отсеков дробления плотных горных пород при производстве щебня. Технические условия» и может быть рекомендован для применения в бетонах.

Для выработки рекомендаций по использованию отсева в бетонах было предложено использование в качестве минеральной тонкомолотой добавки как активного компонента по замене части вяжущего и заполнителя для мелкозернистых конструкционных бетонов. При этом учитывался известный факт [9] – шлакоосодержащие вяжущие обладают меньшим коэффициентом теплопроводности, чем другие виды цементов.

Оценка качества минеральной тонкомолотой добавки проводилась методом сравнения с добавкой, получаемой при помоле гранулированного доменного шлака. Экспериментальный анализ показал, что при помоле гранулированного шлака и отсева шлакового щебня до одинаковой удельной поверхности в лабораторной шаровой мельнице время помола последнего на 35–40% меньше (рис. 1), а следовательно, и меньше

Таблица 1

Остаток	Остатки на ситах, % по массе					Проход через сито 0,16, % по массе	Модуль крупности	Насыпная плотность, кг/м ³
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16			
Частный	20,18	13,58	20,64	20,93	14,45	9,08	2,73	1100–1300
Полный	20,18	33,76	54,4	75,33	89,78	98,86		

Таблица 2

Показатели	Тонкомолотая минеральная добавка	
	Отсев шлакового щебня	Гранулированный доменный шлак
Удельная поверхность, м ² /кг	300–400	300–400
Модуль основности	0,965	0,99
Модуль активности	0,32	0,33
Силикатный модуль	2,94	2,97

Таблица 3

Код	Значение кода	Значение факторов		
		X ₁	X ₂	X ₃
Основной уровень	0	0,38	0,4	0,35
Интервал варьирования	ΔX _i	0,05	0,1	0,03
Верхний уровень	+	0,43	0,5	0,38
Нижний уровень	-	0,33	0,3	0,32

удельные энергетические затраты, которые еще больше увеличиваются за счет предварительной сушки гранулированного шлака.

Активность полученных шлаковых добавок проверялась на образцах цементно-шлакового вяжущего по ГОСТ 30744–2001 «Методы испытаний с использованием полифракционного песка». Использовался ЦЕМ I 42,5Н производства ПАО «Мордовцемент». Относительные показатели прочности и теплопроводности смешанных вяжущих (28 сут твердения в нормальных условиях) приведены на рис. 2.

Установлено, что влияние шлаковых добавок на показатели активности и теплопроводность шлакоцементных вяжущих практически идентично. При расходе добавок 35–40% в общем объеме вяжущего наблюдается повышение активности на 15–20%; теплопро-

водность вяжущего с увеличением доли добавки монотонно уменьшается. Аппроксимация полученных результатов выражается зависимостями (1, 2), отражающими тенденцию влияния шлаковых добавок на указанные свойства:

$$R_b = R_{ц} [1 + 1,5Д(1-1,7Д)]; \quad (1)$$

$$\lambda_b = \lambda_{ц} (1-0,45Д). \quad (2)$$

Известно [2], что активность минеральных добавок на основе доменных шлаков связана с их минеральным и фазовым составами. Наибольшей активностью обладают шлаковые добавки, содержащие 35–45% кристаллической фазы. Учитывая, что гранулированный шлак имеет 90–95% стеклофазы, было предложено формировать двухкомпонентную шихту для получения минеральной добавки, состоящей из 60–70% гранулированного шлака и 30–40% отсева шлакового щебня, содержащего более 70% кристаллической фазы (рис. 3). Данная рецептура шихты была рекомендована для промышленного изготовления добавки на мельницах типа роторно-вихревая и шаровая.

Механоактивация данной шихты создала условия формирования усредненного фазового состава, соответствующего требованиям повышенной активности и получения шлаковой добавки, содержащей в своем составе при заданной тонкости помола 350–400 м²/кг порядка 20% более грубых дисперсных частичек удельной поверхностью 250–300 м²/кг (остаток на сите 008), представляющих в основном граншлаковый компонент.

В ходе исследования данной добавки были установлены рациональные пределы доли добавки в вяжущем, равные 0,4–0,5, при которых относительная активность шлакоцементного вяжущего увеличивалась на 15–20%, относительная теплопроводность уменьшалась на 25–35% в сравнении с исходным клинкерным вяжущим. Полученные результаты в определенной степени связаны с положительным влиянием дисперсности добавки. Наличие более грубых частичек способствовало повышению прочности вяжущего композита по принципу формирования структуры микробетона [5] и снижению теплопроводности затвердевшего

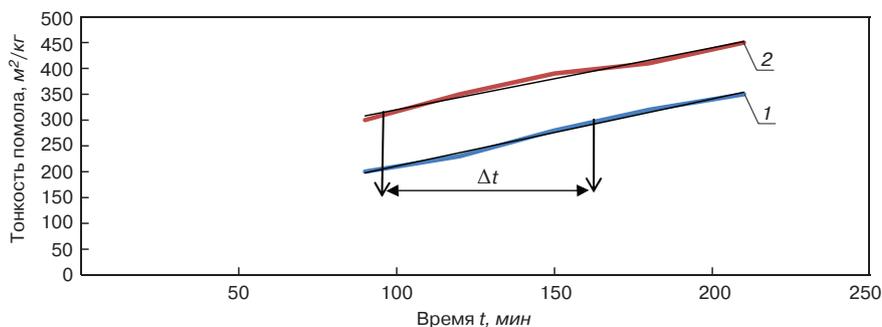


Рис. 1. Зависимость удельной поверхности компонентов шлаковой добавки от времени помола: 1 – граншлак; 2 – отсев шлакового щебня

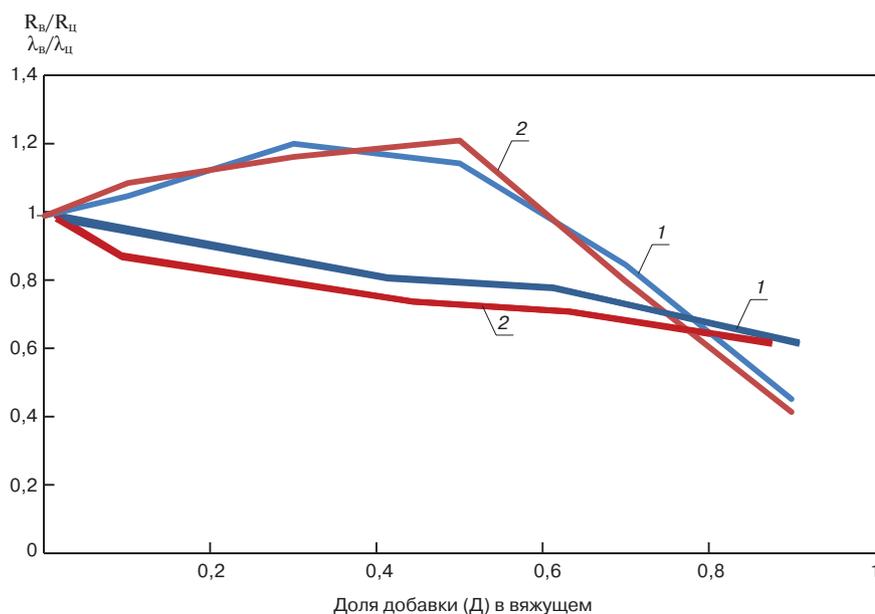


Рис. 2. Влияние доли шлаковой добавки на относительную активность и теплопроводность шлакоцементного вяжущего: 1 – граншлак; 2 – отсев шлакового щебня

вяжущего, связанного с содержанием в нем увеличенного количества стеклообразной составляющей.

На этапе исследования бетонов рассматривался вариант мелкозернистого конструкционного бетона для изготовления плит методом безопалубочного формования, в котором в качестве заполнителя использовался отсев шлакового щебня, в качестве вяжущего – портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н ПАО «Мордовцемент» и полидисперсная тонкомолотая шлаковая добавка. Исследования проводились с привлечением математического метода планирования эксперимента. В качестве независимых переменных были выбраны: X_1 – доля полифракционной добавки в вяжущем; X_2 – доля молотого отсева шлакового щебня в полифракционной добавке; X_3 – водовяжущее отношение. Уровни планирования эксперимента приведены в табл. 3. Расход комплексного вяжущего составлял 550 кг/м³, жесткость бетонной смеси обеспечивалась в пределах 20–30 с. В качестве пластификатора использовалась добавка «Реламикс», расход 0,5% от массы вяжущего.

По результатам эксперимента рассчитаны уравнения регрессии в виде полиномов второй степени, выражающих зависимость прочности, плотности и теплопроводности мелкозернистого бетона от исходных факторов после 28 сут нормального твердения:

$$R_{28} = 41,33 + 2,73 \cdot X_1 + 1,16 \cdot X_2 - 1,17 \cdot X_3 - 1,18 \cdot X_1^2 - 3,83 \cdot X_2^2; \quad (3)$$

$$\gamma_{28} = 2250,2 + 5,5 \cdot X_2 - 10,5 \cdot X_3 - 30,69 \cdot X_3^2 - 13,13 \cdot X_1 \cdot X_2 - 16,88 \cdot X_2 \cdot X_3; \quad (4)$$

$$\lambda_{28} = 0,341 - 0,0017 X_1 + 0,0028 X_2 + 0,0137 X_3 - 0,0143 X_2^2. \quad (5)$$

Анализ данных уравнений позволил установить рациональные значения области исходных факторов, близких к оптимальным, и рекомендовать составы мелкозернистых бетонов с использованием полифракционного комплексного шлакосодержащего вяжущего для производства плит методом безопалубочного формования. Сравнительные результаты испытаний бетонов приведены в табл. 4.

Список литературы

1. Карпенко Н.И., Ярмаковский В.Н., Школьник Я.Ш. Состояние и перспективы использования побочных продуктов техногенных образований в строительной индустрии // *Экология и промышленность России*. 2012. № 10. С. 50–55.
2. Горшков В.С., Александров С.Е., Ивашенко С.И., Горшкова И.В. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве. М.: Стройиздат, 1985. 272 с.
3. Ярмаковский В.Н., Семченков А.С., Козелков М.М., Шевцов Д.А. О ресурсоэнергосбережении при использовании инновационных технологий в кон-

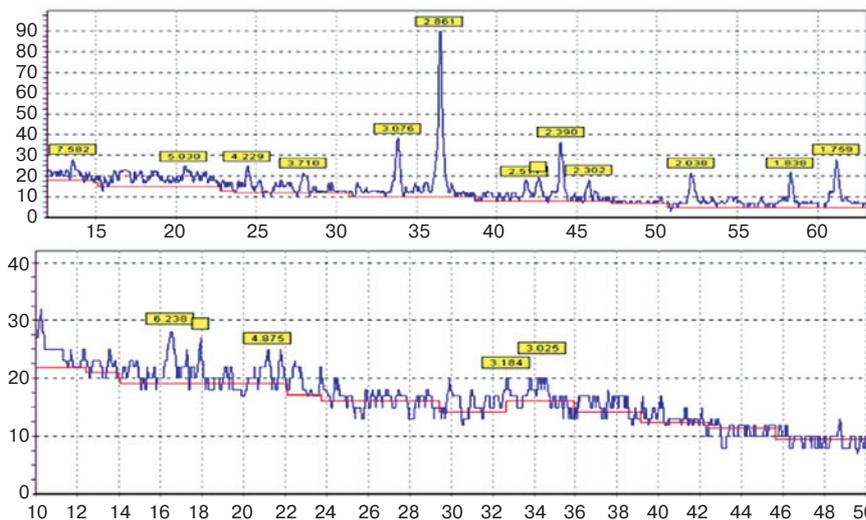


Рис. 3. Рентгенограммы образцов гранулированного шлака и отсева шлакового щебня ПАО «Северсталь»

Таблица 4

Состав бетона 1 м ³ смеси	γ_{28} , кг/м ³	R_7 , МПа	R_{28} , МПа	$R_{пр}$, МПа	$E_6 \cdot 10^3$, МПа	γ_{28} , Вт/м·°С	$K_{эф}$, кг/МПа
Цемент – 550 кг/м ³ Отсев – 1000 л/м ³ В/В = 0,33 Добавка* – 22,1 л/м ³	2250	34,5	43,1	36,2	28,9	0,435	12,7
Цемент – 300 кг/м ³ Добавка – 250 кг/м ³ Отсев – 1000 л/м ³ В/В = 0,34 Добавка* – 16,6 л/м ³	2240	33,2	43,6	37,3	26,7	0,324	6,88

* Добавка – ускоритель набора прочности и твердения отечественного производства.

Прогнозируемая экономия клинкерного вяжущего хорошо иллюстрируется через критерий эффективности $K_{эф}$, отражающий экономию цемента: $K_{эф} = \Pi / R_b$ (Π – расход цемента, кг/м³; R_b – прочность бетона, МПа). Согласно результатам испытаний удельный расход цемента на единицу прочности в рекомендуемых составах мелкозернистого бетона составляет на 40–45% меньше, чем в традиционных бетонах без тонкомолотой полифракционной шлаковой добавки.

Практическая реализация результатов представленных исследований позволит организовать рациональное использование отсева шлакового щебня при производстве высокоэффективных минеральных тонкомолотых шлаковых добавок и конструкционных мелкозернистых шлакобетонов с относительно низкой теплопроводностью и удельным расходом цемента.

References

1. Karpenko N.I., Yarmakovskiy V.N., Shkol'nik Ya.Sh. Sostoyaniye and the prospects of use of by-products of technogenic educations in the construction industry. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2012. No. 10, pp. 50–55. (In Russian).
2. Gorshkov V.S., Alexandrov S.E., Ivashchenko S.I., Gorshkova I.V. Kompleksnaya pererabotka i ispol'zovanie metallurgicheskikh shlakov v stroitel'stve [Complex processing and use of metallurgical slags in construction]. Moscow: Stroizdat, 1985. 272 p.
3. Yarmakovskiy V.N., Semchenkov A.S., Kozelkov M.M., Shevtsov D.A. About energy saving when using innova-

- структивных системах зданий в процессе их создания и возведения // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. Т. 1. С. 209–215.
4. Большаков В.И., Елисева М.А., Шербак С.А. Контактная прочность механоактивированных мелкозернистых бетонов из доменных гранулированных шлаков // *Наука та прогрес транспорту*. 2014. № 5 (53). С. 138–149.
 5. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. СПб.: ООО «Строй-Бетон». 2006. 692 с.
 6. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В. Исследование механики работы мелкозернистого шлакобетона при осевом растяжении и сжатии // *Строительные материалы*. 2014. № 12. С. 59–64.
 7. Панова В.Ф., Панов С.А. Регулирование зернового состава декоративного шлакобетона // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2007. № 8. С. 24–29.
 8. Черноусов Н.Н., Черноусов Р.Н., Суханов А.В., Бондарев Б.А. Влияние возраста мелкозернистого шлакобетона на его прочностные характеристики // *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2015. № 1 (37). С. 41–50.
 9. Грызлов В.С. Формирование структуры шлакобетонов. Lambert Academic Publishing SaarbÜcken Deutschland, 2012. P. 347.
 10. Грызлов В.С. Шлакобетоны в крупнопанельном домостроении // *Строительные материалы*. 2011. № 3. С. 40–41.
 11. Гатылюк А.Г., Грызлов В.С. Определение оптимального состава мелкозернистого шлакобетона на отходах металлургического производства // *Вестник Череповецкого государственного университета*. 2013. Т. 1. № 2 (47). С. 9–11.
4. Bolshakov V.I., Yeliseyev M.A., Shcherbak S.A. Contact durability of the mechanoactivated fine-grained concrete from the domain granulated slags. *Nauka ta progres transportu*. 2014. No. 5 (53), pp. 138–149.
 5. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. *Osnovy betonovedeniya* [Betonovedeniye bases]. Saint Petersburg: Stroy-Beton. 2006. 692 p.
 6. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V. A research of mechanics of work of a fine-grained shlakobeton at axial stretching and compression. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 12, pp. 59–64. (In Russian).
 7. Panova V.F., Panov S.A. Regulation of grain structure of a decorative shlakobeton. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2007. No. 8, pp. 24–29. (In Russian).
 8. Chernousov N.N., Chernousov R.N., Sukhanov A.V., Bondarev B.A. Influence of age of a fine-grained shlakobeton on his strength characteristics. *Nauchnyi zhurnal stroitel'stva i arkhitektury*. 2015. No. 1 (37), pp. 41–50. (In Russian).
 9. Gryzlov V.S. Formirovanie struktury shlakobetonov [Formation of structure of shlakobeton]. Lambert Academic Publishing SaarbÜcken Deutschland, 2012. 347 p.
 10. Gryzlov V.S. Shlakobeton in large-panel housing construction. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 3, pp. 40–41. (In Russian).
 11. Gatylyuk A.G., Gryzlov V.S. Determination of optimum structure of a fine-grained shlakobeton on waste of metallurgical production. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013. Vol. 1. No. 2 (47), pp. 9–11. (In Russian).



ЗАО «ИНГЕОСТРОЙ» предлагает выполнение следующих видов работ и услуг

<ul style="list-style-type: none"> ■ обследование, оценка состояния, мониторинг зданий и сооружений ■ разработка проектной документации на ремонтные, противоаварийные, гидроизоляционные, восстановительные работы ■ устройство горизонтальных и вертикальных противосифтационных завес, разгружающих и защитных экранов ■ усиление оснований и фундаментов с применением различных инъекционных технологий и инновационных материалов на минеральной и органоминеральной основе ■ восстановление качества каменных, бетонных и железобетонных конструкций ■ ликвидация водопроявлений в строящихся и эксплуатирующихся подземных сооружениях, включая объекты метрополитена 	<ul style="list-style-type: none"> ■ работы по струйной цементации грунтов по технологии Jet-1, Jet-2, Super-Jet ■ консолидация водонасыщенных неустойчивых и плавунных грунтов в условиях плотной городской застройки ■ устройство эффективных свайных оснований и фундаментов ■ защита зданий и сооружений от сверхнормативных деформаций, а также выравнивание зданий и сооружений в случае проявившихся деформаций по технологии компенсационного нагнетания с применением специальных инъекционных материалов КН-1 и КН-1, системы высокоточного автоматизированного мониторинга, современного инъекционного оборудования
---	--

ЗАО «ИНГЕОСТРОЙ» располагает высококвалифицированным научным, проектным и производственным персоналом, широким парком высокотехнологичного оборудования и техники, собственной производственной базой и лабораторией. Специалисты компании принимали активное участие в реконструкции зданий Московского Кремля, Мавзолея В.И. Ленина, реставрации Воскресенского Новоурусалимского монастыря, закреплении оснований фундаментов здания Министерства иностранных дел РФ.

В настоящее время компания принимает активное участие в строительстве объектов Московского метрополитена, восстановлении проектного положения конструкций Загорской ГЭС-2, усилении оснований и фундаментов зданий и сооружений в условиях плотной городской застройки Москвы.

ЗАО «ИНГЕОСТРОЙ»
109147, г. Москва, ул. М. Калитниковская, д. 7
E-mail: zao.ingeostroy@gmail.com
Тел.: 8-495-796-29-23; 8-919-999-92-89; 8-968-865-77-08

Реклама

Н.С. СОКОЛОВ^{1,2}, канд. техн. наук, директор (forstnpf@mail.ru)

¹ ООО НПФ «ФОРСТ» (428000, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, ул. Калинина, 109 а)

² ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова» (428015, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15)

Один из подходов решения проблемы по увеличению несущей способности буровых свай

В современном геотехническом строительстве имеется в наличии ряд технологий по устройству буровых свай. Известно, что несущая способность по грунту F_d любой сваи является основным показателем для целей восприятия повышенных нагрузок от надфундаментных конструкций. Для достижений повышенных значений F_d для большинства технологий устройства заглубленных конструкций основным направлением является увеличение или диаметра сваи, или ее длины. При таком походе буровые сваи при повышенных нагрузках на них будут громоздкими. Вторым подходом увеличения F_d является прогрессивная технология устройства буровых свай с помощью промежуточных уширений. Для этих свай основным для увеличения несущей способности буровых свай является не увеличение их диаметра, а количество уширений вдоль их длины. В настоящей статье рассматривается третий подход устройства буровых свай повышенной несущей способности, основанной на совместной работе грунтоцементной сваи, сваи по технологии непрерывного проходного шнека SFA (НПШ) и окружающего массива грунта.

Ключевые слова: буровая свая, несущая способность, грунтоцементная свая, электроразрядная технология, технология непрерывного проходного шнека SFA (НПШ), грунтобетонная свая (ГБС).

Для цитирования: Соколов Н.С. Один из подходов решения проблемы по увеличению несущей способности буровых свай // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 44–47.

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

¹ ООО NPF «FORST» (109a, Kalinina Street, 428000, Cheboksary, Russian Federation)

² I.N. Ulianov Chuvash State University (15, Moskovskiy pr., 428015, Cheboksary, Russian Federation)

One of Approaches to Solve the Problem of Increasing the Bearing Capacity of Bored Piles

In modern geotechnical construction, a number of technologies for the construction of bored piles are available. It is known that the bearing capacity on the ground F_d of any pile is the main indicator for the purposes of perception of increased loads from over-foundation structures. To achieve higher F_d values for most technologies of the arrangement of buried structures, the main direction is either an increase in the diameter of the pile or its length. With this approach, the bored piles under heavy loads on them will be cumbersome. The second approach to increasing F_d is the progressive technology of bored pile arrangement with the help of intermediate broadenings. For these piles, the main for increasing the bearing capacity of bored piles is not to increase their diameter, but the number of broadenings along their length. This article considers the third approach to the construction of bored piles with an increased bearing capacity, based on the joint work of the soil-cement pile, the SFA pile (NPSH), and the surrounding soil mass.

Keywords: bored pile, load-bearing capacity, soil-cement pile, electric discharge technology, continuous feed-through screw technology SFA (NPSH), soil-concrete pile (GBS).

For citation: Sokolov N.S. One of approaches to solve the problem of increasing the bearing capacity of bored piles. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 44–47. (In Russian).

Устройство буровых свай повышенной несущей способности F_d является важной геотехнической задачей при возведении зданий повышенной этажности. Для достижения этой цели важно максимальное использование совместной работы сваи с грунтом, а также его фрикционных характеристик [1–4].

В настоящей статье рассматривается один из способов устройства буровой сваи, являющийся синтезом трех геотехнических технологий: **get-технология** – устройство грунтоцементных свай согласно СП 291.1325800.2017 «Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования»; **технология SFA** – устройство буруинъекционных свай с помощью непрерывных проходных шнеков (НПШ) в теле грунтоцементного массива вдоль его оси симметрии, как правило, диаметром не более 300 мм; **разрядно-импульсная технология устройства буруинъекционных свай**. Электрогидравлический эффект, возникающий при обработке мелкозернистого бетона, способствует внедрению его в грунтоцементный массив. Тем самым происходит более полное сцепление этих двух конструктивных элементов [5–13].

Это обстоятельство позволяет сконструировать принципиально новую заглубленную железобетонную конструкцию – **грунтобетонную сваю**.

На рис. 1 приведена принципиальная схема устройства этой сваи. Заглубленная железобетонная конструкция – грунтобетонная свая, приведенная на рис. 1, б, в отличие от других типов имеет сложную конструкцию поперечного сечения. Несущим элементом служит электрогидравлически обработанная и армированная свая SFA (НПШ) (поз. 3). Ее несущая способность по наружной поверхности зависит от фрикционных характеристик грунтоцементной составляющей (поз. 1) (рис. 2).

Кроме того, свая SFA (НПШ) совместно с грунтоцементным массивом работает как железобетонная свая трения по боковой поверхности с окружающим грунтом (рис. 3).

Таким образом, можно предложить следующий алгоритм определения несущей способности комплексной грунтобетонной сваи (ГБС).

1. Гипотеза о том, что произойдет срыв сваи SFA (НПШ) по контактной наружной поверхности под внешним воздействием сосредоточенной нагрузки N_j (рис. 2). При этом значения предельных сдвигающих сил по наиболее слабому бетону $N_{bxy,ult}$ (грунтоцементный массив) следует определить по формуле (8.114) СП 63.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»:

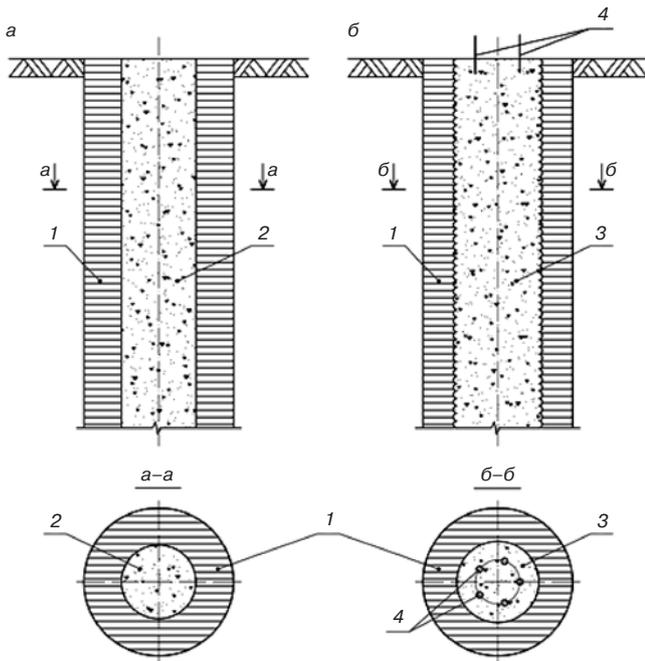


Рис. 1. Схема устройства грунтобетонной сваи (ГБС): а – схема устройства буронагнетательной сваи SFA (НПШ) (поз. 2) внутри грунтоцементной сваи (поз. 1); б – схема устройства буронагнетательной сваи SFA (НПШ) (поз. 3), мелкозернистый бетон которой обработан с помощью электрогидравлической технологии и армирован пространственным каркасом (поз. 4), внутри грунтоцементного массива (поз. 1)

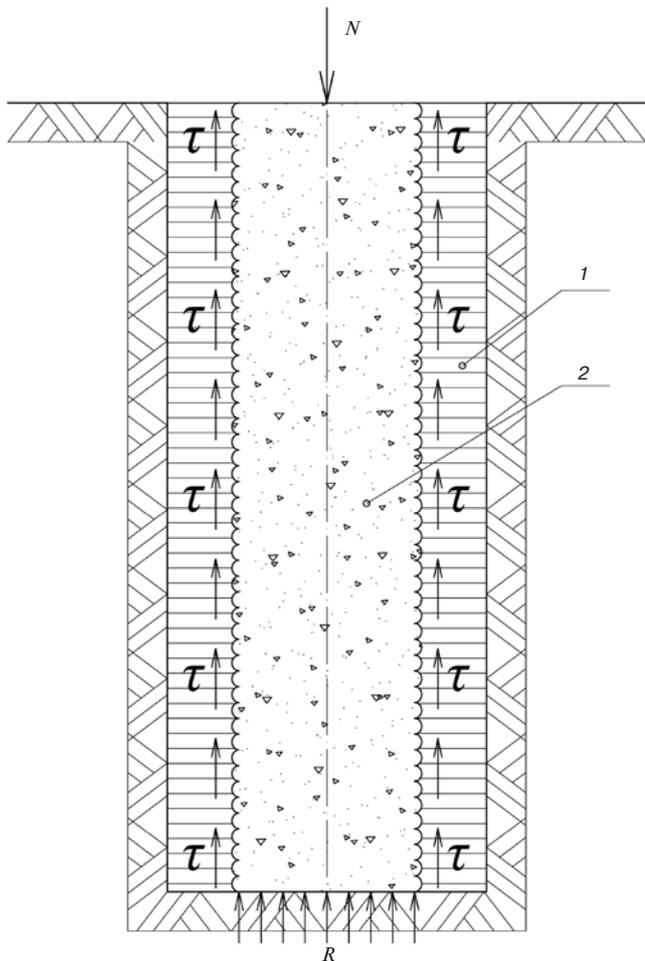


Рис. 2. Схема к определению несущей способности сваи SFA (НПШ) по грунтоцементному основанию F_{d1} : 1 – грунтоцементный массив; 2 – свая SFA (НПШ)

$$N_{bxy,ult} = 0,3 \cdot R_{bt} \cdot A_b, \quad (1)$$

где A_b – рабочая площадь поперечного сечения бетона сваи по контакту с грунтоцементным массивом (принимается площадь наружной поверхности сваи SFA (НПШ)): $A_b = \pi d \cdot h$, здесь d – диаметр сваи, м; h – ее длина, м; R_b – расчетное сопротивление бетона на осевое растяжение: принимается по табл. 6.8 СП 63.13330.2012.

Несущая способность F_{d1} будет равна $N_{bxy,ult}$:

$$F_{d1} = N_{bxy,ult} \quad (2)$$

2. Гипотеза о том, что срез сваи SFA (НПШ) совместно с грунтоцементным массивом произойдет по ненарушенному грунту от внешней нагрузки, предполагает определение несущей способности F_{d2} по формуле (7.11) СП 24.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 2.02.03–85 «Свайные фундаменты». В этом случае схема к расчету приведена на рис. 3:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + \gamma_{cf} \cdot u \sum f_i \cdot h_i). \quad (3)$$

3. Из двух значений F_{d1} и F_{d2} принимается в качестве нормативного значения F_d минимальное значение.

Ниже приведем пример определения несущей способности грунтобетонной сваи (ГБС).

Инженерно-геологический разрез (рис. 4) ИГЭ № 1 площадки строительства от поверхности представлен насыщенным грунтом с включениями обломков кирпича.

Ниже залегает ИГЭ № 2. Это суглинки лёссовые непросадочные (rgQIII), от мягко- до тугопластичной консистенции, редко полутвердые, с числом пластичности $I_p=0,14$. Далее подстилается ИГЭ № 3. Суглинки песчаные (pdQIII) тугопластичные с $I_p=0,14$, залегают в подошве четвертичных грунтов фрагментами в виде линз мощностью 0,5–1,2 м. ИГЭ № 4. Представляют глины алевритистые (P_2t) и с прослойками алевритов, полутвердые, с числом пластичности $I_p=0,3$.

Несущую способность сваи SFA (НПШ) относительно грунтоцементного массива на гипотезе 1 определяем по формуле (1):

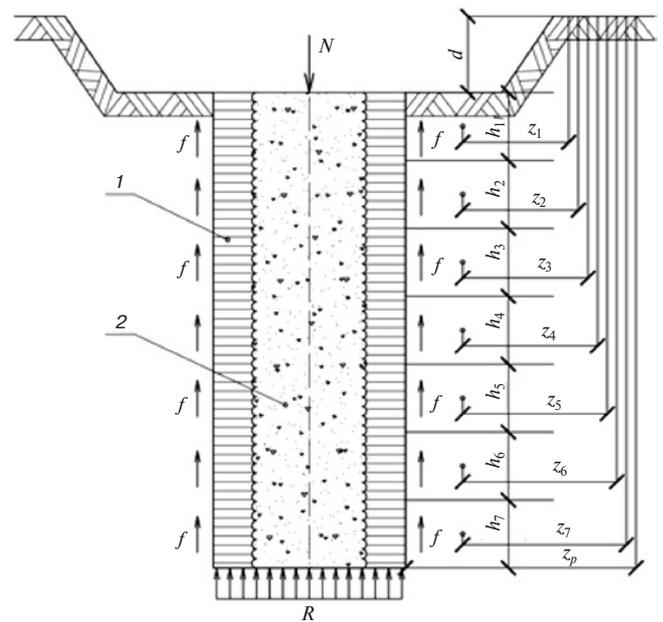


Рис. 3. Схема к определению несущей способности сваи SFA (НПШ) совместно с грунтоцементным массивом по грунту (грунтобетонные сваи (ГБС): 1 – грунтоцементный массив; 2 – свая SFA (НПШ)

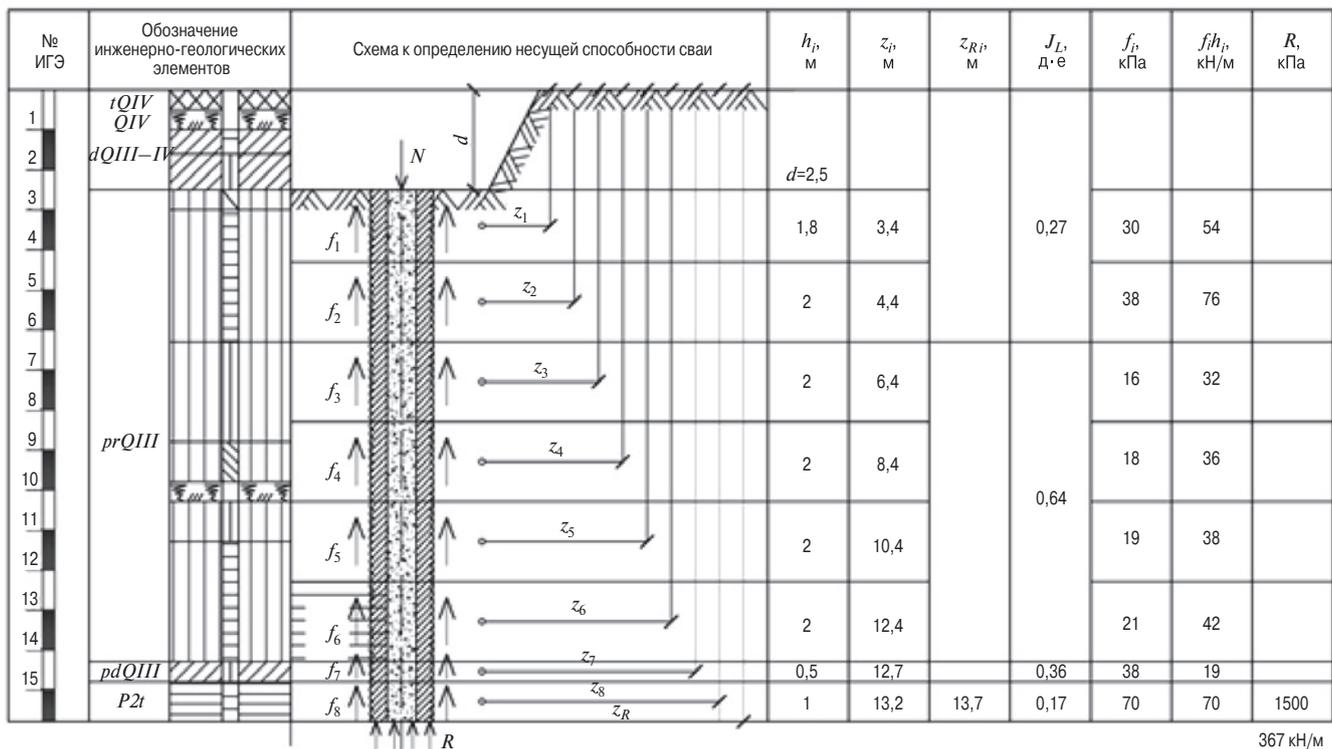


Рис. 4. Схема к определению несущей способности грунтобетонной сваи по грунту

$$F_{d1} = 0,3 \cdot R_{bt} \cdot A_b = 0,3 \cdot 480 \cdot 3,14 \cdot 0,3 \cdot 11,2 = 1519 \text{ кН},$$

где R_{bt} – расчетное сопротивление осевому растяжению при В7,5 равно 480 кПа; A_b – площадь нагруженного периметра сваи SFA (НПШ) при $\varnothing 300$ равна $A_b = 3,14 \cdot 0,3 \cdot 11,2 = 10,6 \text{ м}^2$.

Для определения несущей способности по гипотезе 2 на рис. 4 приведена схема к расчету.

Подставляя в формулу (3) при среднем диаметре $\varnothing 600$ мм $A = 0,28 \text{ м}^2$; $u = 1,88$ м, определяем несущую способность:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + \gamma_{cf} \cdot u \sum f_i \cdot h_i) = 1(1 \cdot 1500 \cdot 0,28 + 1 \cdot 1,88 \cdot 367) = 1109 \text{ кН}.$$

Список литературы

- Ильичев В.А., Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Опыт освоения подземного пространства российских мегаполисов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2012. № 2. С. 17–20.
- Улицкий В.М., Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Геотехническое сопровождение развития городов. СПб: Георекострукция, 2010. 551 с.
- Разводовский Д.Е., Чепурнова А.А. Оценка влияния усиления фундаментов зданий по технологии струйной цементации на их осадку // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 10. С. 64–72.
- Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Мелкозернистый бетон как конструкционный строительный материал буринъекционных свай ЭРТ // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 16–20.
- Соколов Н.С., Викторова С.С., Смирнова Г.М., Федосеева И.П. Буринъекционная свая ЭРТ как заглубленная железобетонная конструкция // *Строительные материалы*. 2017. № 9. С. 47–50.
- Соколов Н.С., Викторова С.С. Исследование и разработка разрядного устройства для изготовления бу-

Таким образом, на основе предыдущих расчетов в качестве расчетной несущей способности, принимается минимальное значение $F_d = F_{d2} = 1109 \text{ кН}$.

Выводы

1. Грунтобетонная свая (ГБС) является новым направлением в геотехническом строительстве. Несущую способность ее по грунту рекомендуется определять как для буровой сваи.

2. За счет электрогидравлической обработки можно существенно повысить прочность грунтоцементного массива.

References

- Ilyichev V.A., Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Experience in the development of the underground space of Russian megacities. *Osnovaniya, fundamentey i mekhanika gruntov*. 2012. No. 2, pp. 17–20. (In Russian).
- Ulitsky V.M., Shashkin A.G., Shashkin K.G. Geotechnical support of urban development. Saint Petersburg: Georekonstrukciya, 2010. 551 p.
- Razvodovsky D.E., Chepurnova A.A. Evaluation of the effect of strengthening the foundations of buildings on the technology of jet cementation on their sediment. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 10, pp. 64–72. (In Russian).
- Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Fine-grained concrete, as a structural construction material for flight augering piles-EDT. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 16–20. (In Russian).
- Sokolov N.S., Viktorova S.S., Smirnova G.M., Fedoseeva I.P. Flight augering piles-EDT as a buried reinforced concrete structure. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 9, pp. 47–50. (In Russian).

- ровой набивной сваи // *Вестник Чувашского университета*. 2017. № 3. С. 152–159.
7. Соколов Н.С., Кадышев Е.Н. Электроразрядная технология для устройства буринъекционных свай // *Вестник Чувашского университета*. 2017. № 3. С. 159–165.
 8. Соколов Н.С. Использование буринъекционных свай ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 8. С. 74–79.
 9. Соколов Н.С., Соколов А.Н., Соколов С.Н., Глушков В.Е., Глушков А.Е. Расчет буринъекционных свай повышенной несущей способности // *Жилищное строительство*. 2017. № 11. С. 20–26.
 10. Соколов Н.С. Фундамент повышенной несущей способности с использованием буринъекционных свай ЭРТ с множественными уширениями // *Жилищное строительство*. 2017. № 9. С. 25–29.
 11. Соколов Н.С., Викторова С.С. Исследование и разработка разрядного устройства для изготовления буровой набивной сваи // *Строительство: Новые технологии – Новое оборудование*. 2017. № 12. С. 38–43.
 12. Nikolay Sokolov, Sergey Ezhov, Svetlana Ezhova. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem // *Journal of applied engineering science*. 15 (2017) 4, 482. p. 518–523.
 13. Соколов Н.С. Электроимпульсная установка для изготовления буринъекционных свай // *Жилищное строительство*. 2018. № 1–2. С. 62–66.
 6. Sokolov N.S., Viktorova S.S. Research and development of a discharge device for the production of a flight augering pile. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*. 2017. No. 3, pp. 152–159. (In Russian).
 7. Sokolov N.S., Kadyshchev E.N. Electrodischarge technology for the device flight augering piles. *Vestnik Chuvashskogo universiteta*. 2017. No. 3, pp. 159–165. (In Russian).
 8. Sokolov N.S. The use of flight augering piles-ERT as the bases of the foundations of high bearing capacity. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 8, pp. 74–79. (In Russian).
 9. Sokolov N.S., Sokolov A.N., Sokolov S.N., Glushkov V.E., Glushkov A.E. Calculation of flight augering piles of high bearing capacity. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing construction]. 2017. No. 11, pp. 20–26. (In Russian).
 10. Sokolov N.S. The foundation of the increased load-bearing capacity with the use of flight augering piles-ERT with multiplies broadening. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing construction]. 2017. No. 9, pp. 25–29. (In Russian).
 11. Sokolov N.S., Viktorova S.S. Research and development of a discharge device for the production of a flight augering pile. *Stroitel'stvo: Novye tekhnologii – Novoe oborudovanie*. 2017. No. 12, pp. 38–43. (In Russian).
 12. Nikolay Sokolov, Sergey Ezhov, Svetlana Ezhova. Preserving the natural landscape on the construction site for a sustainable ecosystem. *Journal of applied engineering science*. 15 (2017) 4, 482, pp. 518–523. (In Russian).
 13. Sokolov N.S. Electroimpulse installation for the production of flight augering piles. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing construction]. 2018. No. 1–2, pp. 62–66. (In Russian).

Приглашаем посетить IV международную отраслевую конференцию БЕЛЫЙ КАМЕНЬ-2018
Индустрия развития силикатных строительных материалов

Конференция посвящена 120-летию силикатной промышленности России.
25-26 июля 2018 года, г. Калининград, отель «Kaiserhof»

Ключевые направления работы:

- Экономика: Стратегия и тактика развития на турбулентном рынке. Оптимизация издержек в кризис. Как расти на падающем рынке.
- Технология производства. Обеспечение экологической безопасности производства.
- Нормативно-правовая документация: Пособие по проектированию и Альбом технических решений. Стандарты НОСТРОЙ.
- Аналитика: Тенденции развития рынка силикатных изделий России.



Ключевой спикер Дмитрий Потапенко.

Основатель и управляющий партнер Management Development Group Inc.
Экс-управляющий сети «Пятерочка» и «Карусель» по Центральному Федеральному округу,
экс-заместитель управляющего ГК «Лотос», экс-вице-президент по инвестиционному
развитию ПКБ «КредитИмпексБанк»

Экскурсия на предприятие: посещение ОАО «Силикатстром».

Контакты оргкомитета:

Ассоциация производителей силикатных изделий - тел./факс: 8 (8313) 25 55 25
8 930 819 99 13 - Андрей Сомов, исполнительный директор
8 930 056 42 46 - Екатерина Громова, специалист по связям с общественностью
e-mail: info@apsi-rf.ru



И.Я. ХАРЧЕНКО, д-р тех. наук (iharcenko@mail.ru), Д.А. БАЖЕНОВ, специалист (bajenov.da@gmail.com)
Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Эффективный самоуплотняющийся мелкозернистый бетон с компенсированной усадкой

В статье изложены результаты экспериментальных исследований самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов на основе композиционных вяжущих, приготовленных с использованием минеральных микронаполнителей. Целью работы являлось исследование кинетики структурообразования и влияния введения минеральных микронаполнителей различной гидратационной активности на характеристики мелкозернистого бетона для получения самоуплотняющегося мелкозернистого бетона с повышенной трещиностойкостью и долговечностью.

В качестве сырьевых материалов применены: бездобавочный базовый портландцемент с различными тонкодисперсными минеральными микронаполнителями в виде карбонатной муки; тонкомолотого кварцевого песка после его механохимической активации; расширяющейся добавки на сульфоалюминатной основе. Проведено исследование кинетики структурообразования и физико-механических свойств мелкозернистого бетона на основе композиционных вяжущих с минеральными микронаполнителями на разных стадиях формирования структуры.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, минеральный микронаполнитель, расширяющаяся добавка, усадка, расширение, пористость, долговечность.

Для цитирования: Харченко И.Я., Баженов Д.А. Эффективный самоуплотняющийся мелкозернистый бетон с компенсированной усадкой // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 48–52.

I.Ya. HARCENKO, Doctor of Sciences (Engineering) (iharcenko@mail.ru), D.A. BAJENOV, Specialist (bajenov.da@gmail.com)
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Shosse, 29337, Moscow, Russian Federation)

Efficient Self-Compacting Fine Concrete with Compensated Shrinkage

The article describes the results of experimental studies of self-compacting fine concretes on the basis of composite binders prepared with the use of mineral micro-fillers. The aim of this work was to study the kinetics of structure formation and the impact of the introduction of mineral micro-fillers of various hydration activity on the characteristics of fine concrete, for obtaining self-compacting fine concrete with improved crack-resistance and durability. As raw materials were used: plain base Portland cement with different fine disperse mineral micro-fillers in the form of carbonate flour, fine-grinded quartz sand after its mechanical-chemical activation, an expanding additive on the sulphate-aluminate basis. Has been conducted the study of the kinetics of structure formation and physical-mechanical properties of fine concrete on the basis of composite binders with mineral micro-fillers at different stages of structure formation.

Keywords: fine concrete, mineral micro-filler, expanding additive, expansion, porosity, durability.

For citation: Harcenko I.Ya., Bajenov D.A. Efficient self-compacting fine concrete with compensated shrinkage. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 48–52. (In Russian).

Самоуплотняющиеся бетоны (СУБ) были разработаны и внедрены в строительную практику в начале 1990-х гг. в Японии [1–3]. В последние годы они нашли успешное применение в России при возведении монолитных бетонных и железобетонных конструкций различного назначения. Главными отличительными свойствами самоуплотняющегося бетона являются сохраняемая длительное время высокая подвижность при отсутствии расслаивания. Эти свойства обеспечиваются посредством введения в состав бетона тонкодисперсных наполнителей и подбором оптимального гранулометрического состава мелкого и крупного заполнителей. Применение высокоэффективных пластификаторов и разжижителей обеспечивает сохранение высокой подвижности бетонных смесей в течение заданного технологическим регламентом интервала времени даже при относительно низких значениях водовяжущего отношения. На основании результатов анализа зарубежного и отечественного опыта практического применения СУБ можно утверждать, что наиболее эффективными областями их применения является выполнение работ в особенно сложных условиях, когда применение вибрационного уплотнения затруднено или не представляется возможным [1, 2, 4, 5]. К таким условиям можно отнести, например, устройство ограждений котлованов по методу «стена в грунте», строительство шахтных стволов, мостовых и тоннельных сооружений, а также различных густоармированных монолитных конструкций специального назначения.

В составе СУБ на долю цементного теста приходится не менее 40% объема, а гранулометрический состав мелкого и крупного заполнителей обеспечивает минимальную пустотность их смеси [6–11].

При проектировании состава СУБ следует иметь в виду две особенности: необходимость обеспечения высокой подвижности и удобоукладываемости бетонной смеси и необходимость обеспечения достаточно высоких прочностных показателей затвердевшего бетона. Эти требования в некоторой степени противоречат друг другу: для обеспечения высоких прочностных показателей необходимо иметь смеси с низким значением В/Ц, а для повышения подвижности смеси необходимо В/Ц увеличить. Это противоречие устраняется применением эффективных пластификаторов (разжижителей) и оптимально подобранным гранулометрическим составом заполнителей [12–15]. Однако если на отечественном рынке пластифицирующие добавки представлены достаточно широко, то практика поставки многофракционных заполнителей, необходимых для получения СУБ, в России отсутствует. Это связано прежде всего с тем, что поставщики заполнителей ориентируются на существующую нормативную базу, в соответствии с которой заполнители имеют достаточно «грубую» классификацию (5–10, 10–20 мм и т. д.), которая допускает значительное изменение процентного соотношения отдельных фракций даже в рамках поставки отдельных партий. Это исключает возможность их применения для приготовления СУБ. Одновременно с этим фракционный состав поставляемого кварцевого песка является достаточно стабильным и воспроизводимым. В этой связи наиболее перспективным для отечественного монолитного строительства является применение СУБ на основе бесщебеночных мелкозернистых бетонов. Однако, одним из существенных факторов, сдерживающих широкое применение СУБ в строительной практике, является

Таблица 1

Наименование минерала или продукта гидратации цемента	Содержание продуктов гидратации в составе цементного камня, %					Межплоскостное расстояние d, Å	Химическая формула
	ПЦ	ПЦ+КМ	ПЦ+АКП	ПЦ+КМ+РД	ПЦ+АКП+РД		
Кварц	2,6	2,8	9,7	10,6	2,4	4,263; 3,347; ...; 1,820; ...; 1,378	SiO ₂
Кальцит	10,3	14,1	8,5	12,8	11,6	3,861; 3,038; 2,493; 2,295; ...	CaCO ₃
Фатерит (ватерит)	1,1	0,6	1,2	1,5	2,4	3,563; 3,290; 2,732; ...; 2,021	μ-CaCO ₃
Этtringит	7,1	6,2	5,9	10,8	10,1	9,90–9,70; 5,627; 3,892; 3,496; ...	Ca ₆ [Al(OH) ₆] ₂ ·24H ₂ O·(SO ₄) ₃ ·2H ₂ O
Портландит	16,5	12,6	13,6	13,1	13,2	7,16; 3,57; 2,38; 1,78; 1,43 ...	Ca(OH) ₂
Гидросиликаты кальция	57,5	55,1	61,5	54,5	56,8	11,812–10,049; 3,071; 2,825; 1,851	xCaO·SiO ₂ ·yH ₂ O; [C–S–H]
Двухкальциевый алюминат 8-водный	0,9	1,1	0,3	0,5	1	10,824–10,012; 2,870; 2,544; ...	2CaO·Al ₂ O ₃ ·8H ₂ O; [C ₂ AH ₈]
Трехкальциевый алюминат Гексагидрат	2	2,2	2,1	2,6	1,6	5,168; 2,805; 2,300; 2,042; ...	Ca ₃ Al ₂ (OH) ₁₂ ; [C ₃ AH ₆]
Гидрокарбоалюминат	–	2,4	–	2,1	–	7,571; 3,782; 2,520; 2,419–2,340; ...	4CaOAl ₂ O ₃ CO ₂ ·11H ₂ O; [C ₄ ACO ₂ H ₁₁]
Другие неорганические компоненты	1,1	1,2	1,8	1,5	0,4	–	–
Степень гидратации вяжущего, %	94	93	94	96	95		

ся их низкая трещиностойкость вследствие развития усадочных деформаций, обусловленных значительным содержанием вяжущего в составе бетонной смеси.

С целью повышения качества самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов (СУ МЗБ) на кафедре технологии вяжущих веществ и бетонов НИУ МГСУ выполняются комплексные исследования по разработке методов снижения вредного влияния усадочных деформаций на свойства СУ МЗБ на основе применения комплексных многофункциональных минеральных добавок с различной гидравлической активностью. При этом минеральные микронаполнители имеют различное функциональное проявление на разных этапах формирования структуры и свойств СУ МЗБ. Так, путем введения в состав бетонной смеси минеральных микронаполнителей с дисперсностью от 5 мкм и ниже обеспечивается их размещение в межзерновом пространстве базового портландцемента, вытесняя воду и снижая истинное значение В/Ц. При этом существенно повышается связанность смеси при одновременном повышении ее подвижности и удобоукладываемости. Кроме того, вытеснение избыточной воды из межзернового пространства базового портландцемента, а также распределение в нем зерен микронаполнителя, выполняющих функцию стабилизирующего каркаса, снижает величину усадочных деформаций. При применении гидравлически активных микронаполнителей, содержащих в своем составе сульфоалюминаты кальция, дополнительно к фактору вытеснения свободной межзерновой воды обеспечивается образование этtringита, сопровождающееся увеличением объема твердеющего цементного камня, компенсирующего усадку. Кроме того, часть микронаполнителя, содержащая в своем составе аморфный кремнезем, обеспечивает образование гидросиликатов кальция, способствующих упрочнению структуры цементного камня.

С целью получения эффективного СУ МЗБ исследовались три группы добавок, которые можно классифицировать как гидравлически пассивные, гидравлически слабоактивные и гидравлически активные. В качестве

гидравлически пассивных исследовались микронаполнители в виде карбонатной муки; гидравлически слабоактивным минеральным микронаполнителем являлся кварцевый песок после измельчения в активаторе вихревого типа (МХА) и в качестве гидравлически активного компонента исследовался микронаполнитель на основе сульфоалюмината кальция в виде смеси метакатолина и тонкодисперсного ангидрита. В соответствии со степенью гидравлической активности микронаполнителя его влияние на развитие процессов структурообразования и свойства затвердевшего цементного камня и бетона различны. Для получения тонкодисперсных минеральных микронаполнителей применялся активатор АВР-03-ВК. На основании анализа результатов исследований установлено, что частицы кварцевого песка после механохимической активации имеют достаточно равносимметричную форму со значительной долей стекловидных затвердевших включений, отличающихся высоким содержанием кремнезема (рис. 1).

Анализ зернового состава кварцевого песка, прошедшего МХА, показал, что диаметр зерен изменяется в широком диапазоне от 0,2 до 10 мкм с удельной поверхностью порошка до 800 м²/кг. Таким образом, активированный кварцевый песок имеет дисперсность существенно выше, чем базовый портландцемент, что предполагает его преимущественное распределение в межзерновом пространстве. Это является важной предпосылкой для получения СУ МЗБ с повышенной прочностью и долговечностью.

В качестве гидравлически пассивного микронаполнителя применяется тонкомолотый известняк. При этом общепринято, что карбонатный микронаполнитель не участвует в химических реакциях, сопровождающих развитие процессов гидратации при твердении цемента. Основной его задачей как микронаполнителя является заполнение межзернового пространства базового портландцемента, что позволяет снизить водопотребность вяжущего при одновременном улучшении реологических характеристик. Экономическая обоснованность использования тонкодисперсного карбонат-

Таблица 2

Расход компонентов, кг/м ³				Свойства СУ МЗБ		
Базовый ПЦ	Микронаполнитель	Вода	Песок	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, 28 сут, МПа	Общая пористость, %
550	–	230	1420	2150	38,5	16,2
450	150 (КМ)	195	1380	2180	46,4	14
450	150 (АКП)	210	1390	2190	48	13,2
450	75 (КМ) 75 (РД)	230	1410	2230	51,3	12,4
450	75 (АКП) 75 (РД)	240	1405	2235	51,8	12,6

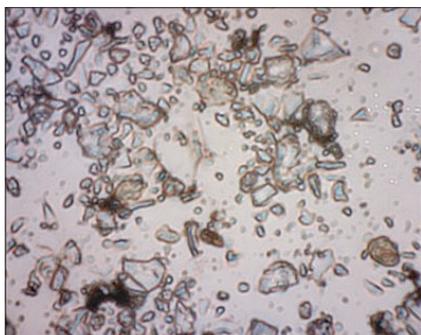


Рис. 1. Зерновой состав кварцевого песка после механохимической активации (увеличение 1×600)



Рис. 3. Этtringит в поровом пространстве СУ МЗБ

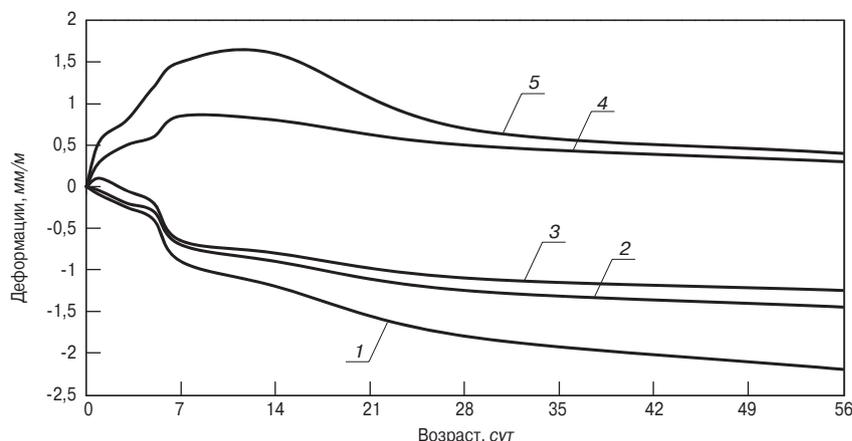


Рис. 2. Кинетика деформаций СУ МЗБ на основе композиционных вяжущих: 1 – базовый ПЦ; 2 – ПЦ+КМ; 3 – ПЦ+АКП; 4 – ПЦ+КМ+РД; 5 – ПЦ+АКП+РД

Таблица 3

Составы СУ МЗБ в соответствии с табл. 2	Прочность, 28 сут, МПа		Коэффициент вязкого разрушения K_c , МПа·м ^{1/2}
	При сжатии	При растяжении	
Базовый ПЦ	38,5	3,35	2,03
На основе ПЦ+КМ	46,4	4,92	2,61
На основе ПЦ+АКП	48	5,18	3,12
На основе ПЦ+КМ+РД	51,3	5,8	3,49
На основе ПЦ+АКП+РД	51,8	6,12	3,57

ного микронаполнителя определяется сравнительно низкими затратами при помоле, обеспечивающим дисперсность, достаточную для эффективного размещения в межзерновом пространстве базового цемента.

Исследование процессов структурообразования и свойств СУ МЗБ выполнялось с применением различных композиционных вяжущих, приготавливаемых путем смешивания бездобавочного базового портландцемента (ПЦ) с различными тонкодисперсными минеральными микронаполнителями в виде карбонатной муки (КМ); тонкомолотого кварцевого песка после его механохимической активации (АКП); расширяющейся добавки на основе метакаолина и тонкодисперсного ангидрита (РД), а также их смеси (РД+АКП) и (РД+КМ). В качестве базового портландцемента использовался портландцемент Белгородского цементного завода М500 Д0 (ЦЕМ I 42,5Н) со следующими характеристиками: НГ 25,5%; В/Ц = 0,5; $R_{сж}^{28} = 49,6$ МПа; $R_{т}^{28} = 7,8$ МПа; Класс В 42,5. В качестве пластифицирующей добавки использован суперпластификатор С-3 (СП С-3), соответствующий ТУ 6-36-0204229-625-90.

На основании анализа экспериментальных исследований продуктов гидратации композиционных вяжущих установлено, что карбонат кальция, который обычно рассматривается в качестве гидравлически пассивного микронаполнителя, может принимать достаточно

активное участие в развитии процессов гидратации цемента (табл. 1).

Установлено, что при гидратации трехкальциевого алюмината в присутствии кальцита образуются гидрокарбомоноалюминат кальция (ГКАК) в форме $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CO_2 \cdot 11H_2O$, доля которого не превышает 3% от количества классических гидросульфалоюминатов, образующихся при гидратации базового портландцемента. Учитывая его незначительную долю в общем объеме продуктов гидратации, ГКАК не оказывает существенного влияния на формирование прочностных характеристик композиционного вяжущего и бетона на его основе. Однако при взаимодействии гидросиликатов, гидросульфалоюминатов и гидрокарбоната кальция возможно появление таумазита, образование которого сопровождается значительным увеличением объема, трещинообразованием затвердевшего бетона и нарушением сплошности бетонных и железобетонных конструкций [6, 10]. Поскольку реакция образования таумазита развивается при низких положительных температурах (1–5°C), опасность трещинообразования и нарушения сплошности бетонных и железобетонных конструкций необходимо учитывать при строительстве подземных сооружений различного назначения: тоннельных и притоннельных сооружений метрополитена, станций метро, подземных паркингов и т. д. Таким об-

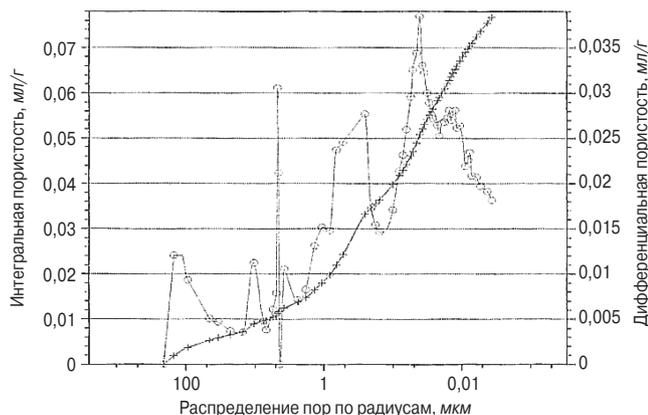


Рис. 4. Анализ поровой структуры СУ МЗБ на основе композиционного вяжущего (№ 5, табл. 2)

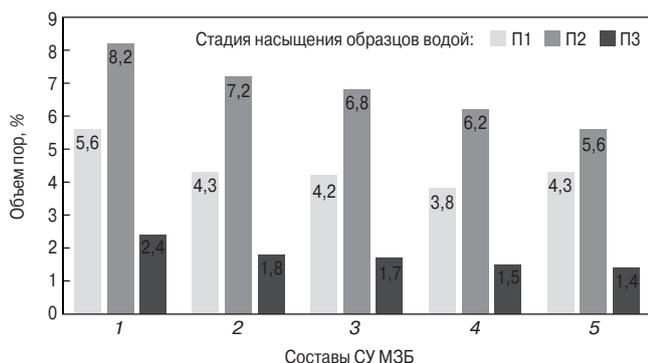


Рис. 5. Характеристики поровой структуры СУ МЗБ при насыщении водой: 1 – базовый ПЦ; 2 – ПЦ+КМ; 3 – ПЦ+АКП; 4 – ПЦ+КМ+РД; 5 – ПЦ+АКП+РД

разом, при сооружении этих конструкций с применением СУБ в условиях сульфатной нагрузки необходимо ограничивать использование карбонатного микронаполнителя.

При исследовании свойств СУ МЗБ применялись смеси с постоянной подвижностью 290–300 мм по расплыву стандартного конуса, которая обеспечивалась введением соответствующего количества суперпластификатора и корректировкой В/В (табл. 2). В качестве заполнителя использовался кварцевый песок с модулем крупности $M_k = 2,13$, содержащий пылеватые частицы в количестве 3,2%.

Анализ развития усадочных деформаций твердеющего СУ МЗБ с различными микронаполнителями показал, что введение в его состав гидравлически пассивного микронаполнителя (КМ) и слабо-гидравлически активного микронаполнителя (АКП) не менее чем на 20% снижает величину усадки СУ МЗБ, приготовленного на основе базового портландцемента (рис. 2), что повышает его трещиностойкость и долговечность.

Исследование кинетики процессов гидратации, выполненное с применением физико-химических методов, позволило установить, что наряду с обычными для твердеющего цемента продуктами гидратации в виде этtringита, портландита, моносульфата преобладающим является образование гидросиликатов различной основности (табл. 1). Это подтверждает участие активированного песка в процессах гидратации, путем связывания аморфного кремнезема гидроксидом кальция с образованием низкоосновных гидросиликатов. При этом этtringит, образующийся в результате гидратации расширяющейся добавки, кристаллизуется преимущественно в поровом пространстве цементного камня, упрочняя и уплотняя его (рис. 3).

Исследование поровой структуры СУ МЗБ, приготовленного на основе модифицированного композици-

онного вяжущего, выполнялось с применением метода ртутной порометрии. При этом установлено, что в его структуре содержится до 7% гелевых пор диаметром до 100 нм и около 5% пор размером 100–600 нм, являющихся наиболее опасными для структуры бетона при замораживании, а также около 5% крупных пор и капилляров размером более 600 нм (рис. 4).

Результаты анализа поровой структуры, выполненные с применением ртутной порометрии, тесно коррелируются с результатами исследования пористости по методу трехстадийного насыщения водой: над водой (П1), под водой (П2) и под вакуумом (П3) (рис. 5).

При этом установлено, что минимальный объем второй группы пор П2, главным образом отрицательно сказывающихся на долговечности бетона, имеют составы с содержанием микронаполнителя, представленного смесью активированного кварцевого песка с расширяющейся добавкой (АКП+РД).

Одним из важных параметров, косвенно определяющих долговечность бетона, является его трещиностойкость. Оценка трещиностойкости модифицированного СУ МЗБ выполнялась по величине коэффициента вязкого разрушения (K_c), который находится в тесной корреляционной зависимости с морозостойкостью бетона. Определение вязкости разрушения выполнялось в соответствии с требованиями ГОСТ 29167–91 «Бетоны. Методы определения характеристики трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении». Как видно из табл. 3, величина K_c , экспериментально определенная для составов СУ МЗБ на основе композиционных вяжущих, характеризует их высокую трещиностойкость, что соответственно предполагает повышенную долговечность.

Прямое исследование долговечности СУ МЗБ, которая может характеризоваться величиной его морозостойкости, выполняли двумя методами: dilatометрическим методом по величине остаточных деформаций и прямым испытанием по потере массы после замораживания и оттаивания. По результатам испытания морозостойкости dilatометрическим методом было установлено, что все составы СУ МЗБ имеют морозостойкость не менее F250. Эти же показатели достигнуты при оценке морозостойкости по потере массы после замораживания-оттаивания. При этом было установлено, что после 56 циклов замораживания-оттаивания величина динамического модуля упругости СУ МЗБ практически не изменилась, что подтверждает высокую устойчивость макро- и микроструктуры в процессе испытания на морозостойкость и характеризует его повышенную долговечность.

На основании анализа результатов экспериментальных исследований установлено, что микронаполнитель на основе кварцевого песка после механохимической активации проявляет способность к пуццолановой реакции с гидроксидом кальция, выделяющимся при гидратации клинкерных фаз, с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция (С–S–Н-фазы), участвуя, таким образом, в формировании прочностных свойств цементного камня и бетона на его основе. При этом важным технологическим фактором является то, что пуццолановая реакция сопровождается незначительным тепловыделением, что является чрезвычайно важным для снижения температурных напряжений при возведении массивных монолитных бетонных и железобетонных конструкций с применением СУ МЗБ.

При применении микронаполнителей, содержащих в своем составе карбонатную муку, необходимо учитывать возможность развития реакции гидратации с образованием таумазита, которая проявляется при низкой положительной температуре (1–5°C). Это связано с опасностью трещинообразования и нарушения сплош-

ности бетонных и железобетонных конструкций, что необходимо учитывать при строительстве подземных сооружений различного назначения: тоннельных и притоннельных сооружений метрополитена, станций метро, подземных паркингов и т. д. Таким образом, при сооружении этих конструкций с применением МЗ СУБ в условиях сульфатной нагрузки необходимо ограничить использование карбонатного микронаполнителя.

Выводы.

Введение в состав мелкозернистого бетона тонкодисперсных минеральных наполнителей с различной гидравлической активностью позволяет получать само-

уплотняющиеся мелкозернистые бетоны с компенсированной усадкой или остаточным расширением, что обеспечивает их повышенную трещиностойкость и долговечность. Установлено, что при применении в качестве наполнителя тонкодисперсной карбонатной муки для получения СУ МЗБ, предназначенного для строительства подземных сооружений, возможно образование гидрокарбоалюмината и таумазита, сопровождающееся нарушением структуры и ухудшением эксплуатационных характеристик бетона. В этой связи их применение для возведения подземных сооружений следует ограничить.

Список литературы

1. Кёниг Г., Чолшермахер К., Дечн Ф. Самоуплотняющийся бетон. Берлин: Bauwerk Verlag GmbH, 2001. 249 с.
2. Окамура Х., Одзава К., Оучи М. Самоуплотняющийся бетон // *Конструкционный бетон*. 2000. № 1. С. 3–17.
3. Одзава К. Разработка высокоэффективного бетона с учетом требования проектирования долговечности бетонных конструкций: *Материалы второй Восточно-Азиатской и Тихоокеанской конференции по инженерии конструкций и сооружений «EASEC-2»*. 1989. Т. 1. С. 445–450.
4. Венкэн Ли, Мамаду Ф. Влияние сульфатов на раннюю прочность и самовысушивание цементной закладочной пасты // *Construction and Building Materials*. 2016. Т. 106. Март. С. 296–304.
5. Харченко А.И., Харченко И.Я. Мелкозернистый самоуплотняющийся бетон на основе модифицированного вяжущего для монолитного строительства. *Международная конференция «IBAUSIL»*. Веймар. 2012.
6. Штарк Й., Вихт Б. Долговечность бетона. Киев: Оранта, 2004. 301 с.
7. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Технология напрягающих цементах и самонапрягающихся железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1985. 183 с.
8. Гайфуллин А.Р., Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Влияние добавок глинистых в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня // *Инженерно-строительный журнал*. 2015. № 7 (59). С. 66–73.
9. Харченко И., Штарк Й. Управление структурообразованием расширяющихся цементах и бетонов на их основе // Веймар: *Wiss. Zeitschr. Hochsch. Arch. Bauwesen Weimar*. 1993. № 39/3. С. 163–171.
10. Штарк Й., Вихт Б. Цемент и известь. Киев: Биркхойзер – баупраксис, 2008. 469 с.
11. Михайлов В.В., Литвер С.Л. Расширяющиеся цементы, напрягающие цементы и самонапряженные железобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 1974, 311 с.
12. Карбаллоса П., Гарсиа Кальво Дж.Л., Ревуелта Д., Санчез Й.И., Гутиэрес Дж.П. Воздействие цементных и расширяющихся добавок на характеристики самонапрягающихся и самоуплотняющихся бетонов в несущих конструкциях // *Construction and Building Materials*. 2015. Т. 93. Сентябрь. С. 223–229.
13. Боксин Ванг, Тенг Ман, Хенан Йин. Прогнозирование характера расширения самонапрягающегося бетона при помощи нейронных сетей и системы выводов на основе нечеткой логики // *Construction and Building Materials*. 2015. Т. 84. Июнь. С. 184–191.
14. Дятлов А.К., Харченко А.И., Баженов М.И., Харченко И.Я. Мелкозернистые самоуплотняющиеся бетоны для монолитного домостроения на основе композиционных вяжущих // *Промышленное и гражданское строительство*. 2012. № 11. С. 54–56.
15. Сайед Хоркосс, Гиллес Есцадеиллас, Тоуфиц Ризк, Рогер Лтеиф. Влияние исходного SO₃ цемента на расширение растворов // *Case Studies in Construction Materials*. 2016. Т. 4. Июнь. С. 62–72.

References

1. König, G., Holschermacher, K., Dehn, F. Selbstverdichtender Beton [Self-compacting concrete]. Berlin: bauwerk Verlag GmbH. 2001. 249 p.
2. Okamura H., Ozawa K., Ouchi M. Self-compacting concrete. *Structural Concrete*. 2000. No. 1, pp. 3–17.
3. Ozawa K. Development of high performance concrete based on the durability design of concrete structures. *Proceedings of the second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2)*. 1989. Vol. 1, pp. 445–450.
4. Wenchen Li, Mamadou Fall. Sulphate effect on the early age strength and self-desiccation of cemented paste backfill. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 106. March, pp. 296–304.
5. Harchenko A.I., Harchenko I.J. Fine-grained self-compacting concrete based on modified binder for monolithic construction. *International conference «Ibausil»*. Weimar. 2012.
6. Stark J., Wicht B. Dolgovechnost' betona [Durability of concrete]. Kiev: Oranta. 2004. 301 p.
7. Mihajlov V.V., Litver S.L. Tehnologija naprjagajushhih cementov i samonaprjagajushhihsja zhelezobetonnyh konstrukcij [Technology of self-stressing reinforced structures]. Moscow: Strojizdat. 183 p.
8. Gajfullin A.R., Rahimov R.Z., Rahimova N.R. The effect of clay additives in portland cement on compression strength of hardened cement paste. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2015. No. 7 (59), pp. 66–73. (In Russian).
9. Chartschenko I., Stark J. Control of the structure formation of expanding cements and concretes based on them. Weimar: *Wiss. Zeitschr. Hochsch. Arch. Bauwesen Weimar*. No. 39/3, pp. 163–171.
10. Stark J., Wicht B. Cement i izvest' [Cement and lime]. Kiev: Birkchojzer – baupraksis. 2008. 469 p.
11. Mihajlov V.V., Litver S.L. Rasshirjajushhiesja cementy, naprjagajushhie cementy i samonaprjzhennnye zhelezobetonnye konstrukcii [Expanding cements, self-stressing cements and self-stressed reinforced concrete structures]. Moscow: Strojizdat. 1974. 311 p.
12. Carballosa P., García Calvo J.L., Revuelta D., Sánchez J.J., Gutiérrez J.P. Influence of cement and expansive additive types in the performance of self-stressing and self-compacting concretes for structural elements. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 93. September, pp. 223–229.
13. Boxin Wang, Teng Man, Henan Jin. Prediction of expansion behavior of self-stressing concrete by artificial neural networks and fuzzy inference systems. *Construction and Building Materials*. 2015. Vol. 84, June, pp. 184–191.
14. Djatlov A.K., Harchenko A.I., Bazhenov M.I., Harchenko I.J. Fine-grained self-compacting concretes for monolithic housing construction based on composite binders. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2012. No. 11, pp. 59–61. (In Russian).
15. Sayed Horkoss, Gilles Escadeillas, Toufic Rizk, Roger Lteif. The effect of the source of cement SO₃ on the expansion of mortars. *Case Studies in Construction Materials*. 2016. Vol. 4. June, pp. 62–72.

УДК 666.9.04:535.15

В.А. РАССУЛОВ¹, канд. геол.-мин. наук; Р.А. ПЛАТОВА², канд. техн. наук (raisa.platova@yandex.ru),
Ю.Т. ПЛАТОВ², д-р техн. наук

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского
(119017, г. Москва, Старомонетный пер., 31)

² Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова (117997, г. Москва, Стремянный пер., 36)

Контроль качества метакАОлина методом спектроскопии в ближней инфракрасной области спектра

Предложен экспресс-метод контроля кальцинирования каолина по спектрам диффузного отражения в UV-VIS-NIR-области. Определены этапы и диапазоны температур термообработки в интервале 600–1000°C превращения каолинита в метакАОлинит по изменениям профиля спектра и площади характеристических полос OH и Al-OH центров в NIR-области. Установлено, что наибольшее уменьшение площади поглощения OH центра и исчезновение структурированности полос OH и Al-OH центров связаны с практически полным дегидроксилированием каолинита. Структурное разупорядочение метакАОлинита наиболее четко взаимосвязано с уменьшением площади полосы Al-OH центра. Показано преимущество измерения спектров диффузного отражения в ближней инфракрасной области по сравнению с ИК-спектрами пропускания. При этом не требуется подготовки проб, измерение проводится in situ («на месте») и в онлайн-режиме.

Ключевые слова: каолин, метакАОлин, пуццолановая активность, спектры диффузного отражения, ближняя инфракрасная область, OH и Al-OH центры.

Для цитирования: Рассулов В.В., Платова Р.А., Платов Ю.Т. Контроль качества метакАОлина методом спектроскопии в ближней инфракрасной области спектра // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 53–56.

V.A. RASSULOV¹, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy); R.A. PLATOVA², Candidate of Sciences (Engineering) (raisa.platova@yandex.ru),
Yu.T. PLATOV², Doctor of Sciences (Engineering)

¹ All-Russian Scientific-Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky (31, Staromonetny per., 119017, Moscow, Russian Federation)

² Plekhanov Russian University of Economics (36, Stremyanny Lane, 119017, Moscow, Russian Federation)

Quality Control of Metakaolin by the Method of Spectroscopy in the Near Infrared Region of the Spectrum

The express-method for control of kaolin calcination in terms of spectra of diffusion reflection in UV-VIS-NIR-field is proposed. The stages and temperature ranges of the heat treatment within the range of 600–1000°C of the transformation of kaolinite to metakaolinite in terms of changes in the spectrum profile and the square of the characteristic bands of OH and Al-OH centers in the NIR field are determined. It is established that the greatest decrease in the absorption area of the OH center and the disappearance of structuring of OH and Al-OH centers is connected with almost complete dehydroxylation of kaolinite. Structural disordering of metakaolinite is most clearly interconnected with the reduction of the band square of Al-OH center. The advantage of measuring the spectra of diffusion reflection in the near infrared area comparing with infrared transmission spectra is shown: there is no need for sample preparation, the measurement is performed in situ and in on-line regime.

Keywords: kaolin, metakaolin, pozzolanic activity, diffusion reflection spectra, near infrared field, OH and Al-OH centers.

For citation: Rassulov V.A., Platova R.A., Platon Yu.T. Quality control of metakaolin by the method of spectroscopy in the near infrared region of the spectrum. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 53–56. (In Russian).

При производстве бетона для решения проблемы ресурсо-, энерго-сбережения и экологии применяются смеси портландцемента с минеральными добавками с целью снижения расхода портландцемента [1]. МетакАОлин (МК) при частичной замене цемента создает эффект наполнителя, а также является активной пуццолановой добавкой [2]. Технология производства МК основана на термической обработке каолина.

Для контроля качества МК как пуццолановой добавки необходима оперативная информация о его фазовом составе. Для получения такой оперативной информации in situ («на месте») в онлайн-режиме рекомендованы оптические методы: спектроколориметрический и фотолюминесцентный [3, 4]. Однако эти оптические методы имеют ограничения: колориметрические и люминесцентные свойства МК зависят от общего содержания оксидов железа. Поэтому при контроле качества МК

по этим оптическим свойствам необходимо вносить в статистическую модель поправочные коэффициенты, что усложняет процедуру прогнозирования оптимального режима его термообработки.

При изучении последовательности реакции «каолинит–муллит» показано [2], что МК образуется при нагревании как промежуточная фаза между этими минералами. МетакАОлинит рентгеноаморфен, поэтому необходимо использовать альтернативные методы, в том числе ИК-спектроскопию. Упорядоченность структуры каолинита и его трансформацию в метакАОлин можно определять по положению и изменению соотношения абсорбционных полос OH и Al-OH центров в ближней инфракрасной (NIR) области спектра [5].

В зависимости от того, как изменяется спектр – после прохождения излучения через каолин или после отражения от его поверхности, инфракрасные спектры делятся на спектры пропускания (абсорбция) и

отражения, которая, в свою очередь, разделяется на спектроскопию внешнего и внутреннего отражения. Внутреннее отражение – однократно и многократно нарушенное полное внутреннее отражение.

Обычно спектроскопия диффузного отражения NIR каолина не так широко используется по сравнению со спектроскопией пропускания [6].

Использование для измерения диффузного отражения спектра каолина и продуктов его термообработки в широкой области – от ультрафиолетового до видимого и ближнего инфракрасного UV-VIS-NIR (350–2500 нм) – имеет ряд несомненных преимуществ:

– измерение диффузного отражения можно проводить на месте (in situ) без какой-либо пробоподготовки каолина и метакАОлина. Для определения спектра каолина в инфракрасной области в режиме пропускания требуется изготовление таблеток. При изготовлении таблеток проводится предварительное

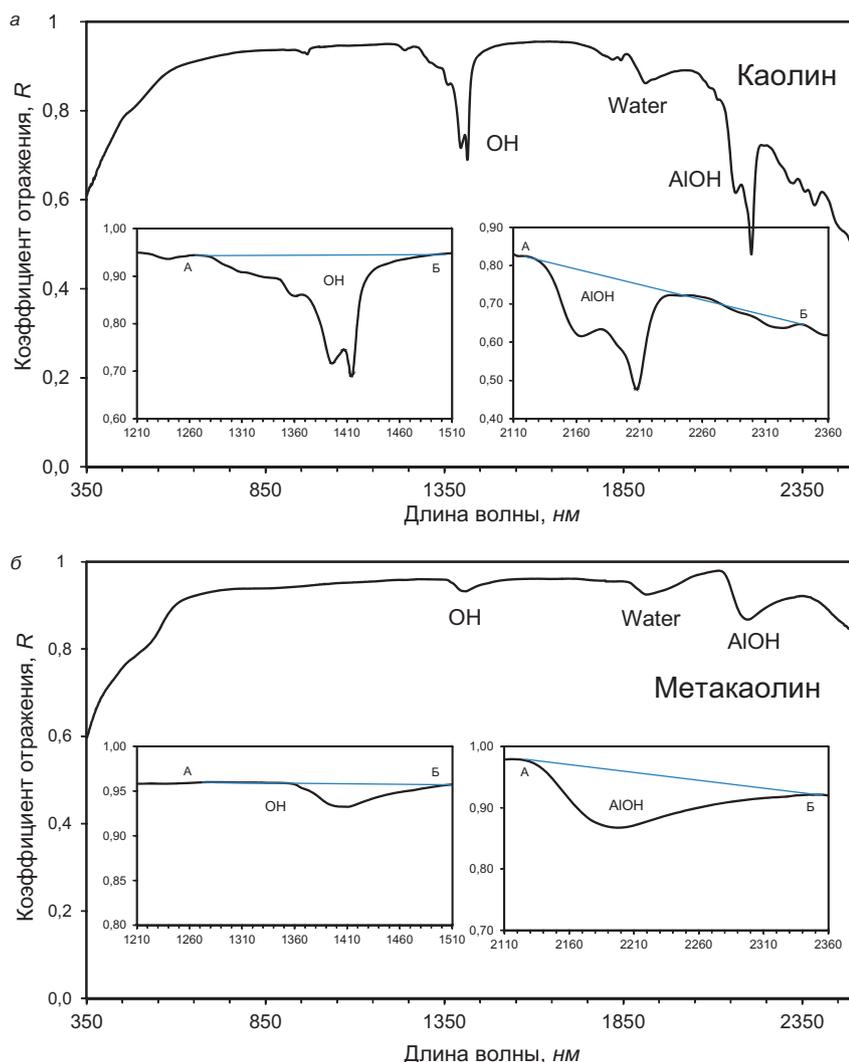


Рис. 1. Спектры диффузного отражения в UV-VIS-NIR-области: а – исходного каолина; б – метакаолина после термообработки при 750°C. На вставке показаны полосы поглощения OH и Al-OH центров в NIR-области спектра, ограниченные по линии А–Б. Доля энергии поглощенной в колебательных полосах соответствующих OH и Al-OH центров, рассчитана по площади, ограниченной линиями А–Б и спектра

диспергирование каолина в КВг, что может привести к структурному повреждению каолинита;

- при измерении диффузного отражения используется проба большего объема и массы, чем при анализе ИК-спектра пропускания, что повышает достоверность и репрезентативность результатов;

- сочетание видимого (VIS) и ближнего инфракрасного (NIR) спектров диффузного отражения позволяет, с одной стороны, определить цветовые характеристики по VIS-спектру и продуктов его термообработки, а с другой – изменение степени упорядоченности каолинита по NIR-спектру от температуры термообработки каолина.

Целью данной работы явилось изучение изменения спектральных характеристик в UV-VIS-NIR-области спектра диффузного отражения для экспресс-контроля технологии получения метакаолина.

Исследования проводили на метакаолине, полученном из каолина месторождения Журавлиный Лог (Челябинская обл.). Каолин-сырец обогащен сухим способом по технологии ООО «Пласт Рифей» с выделением фракции каолина с основного циклона.

Минеральный состав обогащенного каолина состоит в основном из каолинита (95%) с примесями кварца, слюды и калиевого полевого шпата. Средний размер частиц каолина 13,7 мкм, удельная поверхность – 13,3 м²/г, индекс кристалличности каолинита по Хинкли равен 0,8 [2].

Термообработку образцов каолина массой 500 г проводили в лабораторной печи в широком диапазоне температуры 600–1000°C с шагом в 50°C.

После нагревания образцы были закалены во избежание кристаллизации аморфной фазы метакаолина. Масса образцов измерялась до и после термообработки для определе-

ния потери массы в процессе кальцинирования.

Для измерения спектров диффузного отражения в Ultraviolet–Visible–Near-Infrared (UV-VIS-NIR) (ультрафиолет – видимый свет – ближнеинфракрасная область) использован портативный спектрометр TerraSpec 4 Hi-Res (ASD Inc. PANalytical NIR Center, США), работающий в спектральном диапазоне от 350 до 2500 нм. Время анализа одного образца составляет около 2 с, приготовление к измерению – около 1 мин. Принцип действия прибора основан на том, что свет от источника излучения – галогеновой лампы с большим сроком службы, расположенной в зонде, освещает образец и частично поглощается. Отраженный свет собирается оптическим волокном и передается на входную щель спектрометра. Далее отраженный свет проходит через оптический фильтр, отражается от коллимирующего зеркала и попадает на дифракционную решетку, которая разлагает свет на спектральные составляющие. После этого излучение попадает на ПЗС линейки, пиксели которых соответствуют определенной длине волны спектра. В спектрометре используются два типа ПЗС линеек – кремниевая для области 350–1000 нм и на основе InGaAs для 750–2500 нм. Электронная система спектрометра измеряет полученное количество света, преобразует принятый электрический сигнал в цифровую форму, и передает цифровые данные программному обеспечению RS³, установленному на портативном компьютере, где полученные данные анализируются, преобразуются в гиперспектр и сохраняются. Для калибровки прибора используется эталон, аттестованный в Labsphere, Inc. (США).

В спектре каолинита наблюдается несколько полос поглощения, связанных с водой. Характеристичными являются: дублет в области 1400 нм, связанный с OH центром, широкая бесструктурная асимметричная полоса в области 1900 нм, на спектрах обозначенная Water, и структурированная полоса в районе 2200 нм, связанная с Al-OH центром [7].

Количественный анализ проведен по площади поглощения полос OH и Al-OH центров. Для определения доли энергии, поглощенной в колебательной полосе, приходящейся на OH и Al-OH центров, использована базовая линия А–Б, которая соединяет области наибольшего отражения, находящиеся в непосредственной близости от измеряемой полосы поглощения (рис. 1).

Спектры диффузного отражения в UV-VIS-NIR-области исходного

каолина и метакаолина после его термообработки при 750°C, показаны на рис. 1.

Трансформация каолина в МК четко прослеживается как по изменению профиля спектра диффузного отражения, особенно в NIR-области, так и по изменению спектральных характеристик.

Существует только одна фундаментальная мода вибрационного процесса для гидроксильных групп в составе каолинита, которая находится в инфракрасной области спектра около 2750 нм [7]. Поглощения, которые фиксируются в NIR-области, являются спектральной характеристикой первого обертона растяжения ОН центра (~1400 нм) или комбинацией полос растяжения с изменением величины угла между связями Al-OH центра (~2200 нм) [7].

Широкая полоса поглощения ОН центра в спектре диффузного отражения в NIR-области каолина имеет два минимума, соответствующих 1390 и 1415 нм (рис. 1). Полоса поглощения с минимумом ~1390 нм относится к водородным связям ОН центров, расположенных на внешних поверхностях октаэдрических листов каолинита, тогда как полоса с минимумом ~1415 нм относится к «внутренним» гидроксильным группам, расположенным между октаэдрическими и тетраэдрическими листами каолинита [6]. Выявлена тесная связь между отношением интенсивности полос поглощения 1390/1415 нм и индексом окристаллизованности каолинита по Хинкли [6].

В спектре NIR-области каолина полосы поглощения Al-OH центра также имеется дублет, который характеризуется двумя минимумами 2208 и 2164 нм [6].

Процесс дегидроксилирования каолинита сопровождается сглаживанием и исчезновением дублета в полосах поглощения ОН и Al-OH центров NIR-области после его термообработки при 750°C (рис. 1).

В связи с изменениями профиля спектра в NIR-области в качестве индикатора процесса трансформации каолинита в МК использована площадь полос поглощения ОН и Al-OH центров (рис. 2). Для исходного каолина площадь полосы поглощения ОН центра составляет 14,92 усл. ед., а потери при прокаливании – 13,4%. После термообработки при 600°C профиль спектра в NIR-области в целом соответствует профилю исходного каолина, но при этом уменьшились значения площади поглощения ОН центра до 10,34 усл. ед. и потери при прокаливании до 8,6%. Эти изменения сви-

детельствуют о начале процесса дегидроксилирования, но этот продукт термообработки еще не обладает пуццолановой активностью.

Дальнейший процесс дегидроксилирования каолинита после термообработки от 600 до 750°C сопровождается сглаживанием полос и исчезновением дублета ОН и Al-OH центров. Линия, изображенная на рис. 2, соответствующая потерям при прокаливании в интервале термообработки 600–750°C, по профилю изменений значений симбатна линии, соответствующей уменьшению площади поглощения ОН центра в NIR-области (рис. 1). Следовательно, эти две линии описывают процесс удаления гидроксильных групп из состава каолинита.

При сопоставлении скоростей уменьшения площадей полос поглощения ОН и Al-OH центров в NIR-области от температуры термообработки МК выявлены следующие закономерности:

- наибольшее уменьшение площади поглощения ОН центра после термообработки происходит при 600–750°C, что совпадает с уменьшением потерь при прокаливании каолинита. При обезвоживании каолинита образуется метакаолинит – аморфизованный продукт, что подтверждается исчезновением дублета 1390/1415 нм ОН центра в полосе поглощения;

- в диапазоне температур термообработки 700–850°C МК наблюдается наибольшее уменьшение площади полосы поглощения Al-OH центра. В процессе дегидроксилирования каолинита после максимального удаления ОН центра при температуре, равной 750°C, слоистая морфология МК сохраняется, причем сетка тетраэдров кремнезема изменяется мало, а октаэдрический слой преобразуется в алюмокислородный тетраэдрический образующегося МК. Трансформация МК сопровождается следующими изменениями координационного состояния алюминия: $Al_{VI} \rightarrow Al_V$ и Al_{IV} [8], изменения состояния которого в диапазоне этой температуры термообработки соответствуют максимальным значениям пуццолановой активности МК [2, 4];

- после термообработки при 900°C площадь полосы поглощения ОН центра практически не изменяется, а полосы поглощения Al-OH центра слабо уменьшаются, вплоть до 1000°C. В этом диапазоне температуры после термообработки на дифрактограмме МК появляется гало, что связано с образованием расплава, который после охлаждения переходит в

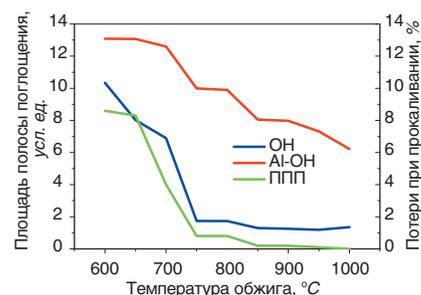


Рис. 2. Изменение спектральных характеристик в NIR-области: площади полос поглощения ОН и Al-OH центров и уменьшение потерь при прокаливании метакаолина после термообработки в диапазоне температур 600–1000°C с шагом 50°C; площади полос ОН и Al-OH центров (усл. ед.); потери при прокаливании (%)

стекловидную фазу, а на термограмме регистрируется экзотермический эффект, соответствующий кристаллизации аморфной фазы. Пуццолановая активность продукта термообработки резко снижается или полностью исчезает [2].

Таким образом, спектральные характеристики в NIR-области позволяют определить этапы и диапазоны температуры термообработки трансформации каолинита в метакаолинит.

Спектроскопия диффузного отражения в UV-VIS-NIR-области может быть рекомендована для экспресс-контроля кальцинирования каолина.

Спектральные характеристики в NIR-области позволяют определить несколько этапов и диапазоны температуры трансформации каолинита в метакаолинит:

- полное дегидроксилирование каолинита характеризуется исчезновением дублета в области полос поглощения ОН и Al-OH центров и уменьшением площади полосы поглощения ОН центра в диапазоне 600–750°C;

- структурное разупорядочение метакаолинита взаимосвязано с уменьшением площади полосы поглощения Al-OH центра в диапазоне 700–850°C;

- появление расплава и кристаллизация новой фазы выявлены по слабому уменьшению площади полосы поглощения Al-OH центра в диапазоне 900–1000°C.

Преимущество спектроскопии диффузного отражения в UV-VIS-NIR-области: возможность измерения спектра на месте; измерение проводится в онлайн-режиме и не занимает много времени; не требуется подготовка проб; спектральные характеристики взаимосвязаны со значениями показателей пуццолановой активности метакаолина, полученных физико-химическими методами.



Список литературы

1. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Гайфуллин А.Р., Стоянов О.В. Влияние добавки в портландцемент прокаленной и молотой полиминеральной каолинитсодержащей глины на прочность цементного камня // *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18. № 5. С. 80–83.
2. Платова Р.А., Аргынбаев Т.М., Стафеева З.В. Влияние дисперсности каолина месторождения Журавлиный Лог на пуццолановую активность метакаолина // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 75–80.
3. Платова Р.А., Платов Ю.Т., Аргынбаев Т.М., Стафеева З.В. Белый метакаолин: факторы, влияющие на окраску, и методы оценки // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 55–60.
4. Платова Р.А., Рассулов В.А., Платов Ю.Т., Аргынбаев Т.М., Стафеева З.В. Люминесцентный контроль пуццолановой активности метакаолина // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 67–72.
5. Guatame-Garcia L.A., Buxton M. Visible and infrared reflectance spectroscopy for characterization of iron impurities in calcined kaolin clays. *Proceeding of the 2nd International conference on optical characterization of materials*. Karlsruhe. 2015. P. 215–226.
6. Crowley J.K., Vergo N. Near-infrared reflectance spectra of mixtures of kaolin-group minerals: use in clay mineral studies // *Clays and Clay Minerals*. 1988. Vol. 36. № 4. P. 310–316.
7. Hunt G.R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared // *Geophysics*. 1977. Vol. 42. № 3. P. 501–513.
8. Bergaya F., Dion P., Alcover J.F., Clinard C., Tchoubar D. TEM study of kaolinite thermal decomposition by controlled-rate thermal analysis // *Journal of Materials Science*. 1996. Vol. 31. № 19. P. 5069–5075.

References

1. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Gayfullin A.R., Stoyanov O.V. Influence of additive in a portlandtsement of the calcinated and ground polymineral clay containing kaolinite on durability of a cement stone. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2015. Vol. 18. No. 5, pp. 80–83. (In Russian).
2. Platova R.A., Argynbaev T.M., Stafeeva Z.V. Influence of Dispersion of Kaolin from Zhuravliny Log Deposit on Pozzolan Activity of Metakaolin. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 2, pp. 75–80. (In Russian).
3. Platova R.A., Platov Yu.T., Argynbaev T.M., Stafeeva Z.V. White Metakaolin: Factors Influencing on Coloring and Evaluating Methods. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 55–60. (In Russian).
4. Platova R.A., Rassulov V.A., Platov Yu.T., Argynbaev T.M., Stafeeva Z.V. Luminescence Control of Pozzolan Activity of Metakaolin. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 67–72. (In Russian).
5. Guatame-Garcia L.A., Buxton M. Visible and infrared reflectance spectroscopy for characterization of iron impurities in calcined kaolin clays. *Proceeding of the 2nd International conference on optical characterization of materials*. Karlsruhe. 2015, pp. 215–226.
6. Crowley J.K., Vergo N. Near-infrared reflectance spectra of mixtures of kaolin-group minerals: use in clay mineral studies. *Clays and Clay Minerals*. 1988. Vol. 36. No. 4 pp. 310–316.
7. Hunt G.R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*. 1977. Vol. 42. No. 3, pp. 501–513.
8. Bergaya F., Dion P., Alcover J.F., Clinard C., Tchoubar D. TEM study of kaolinite thermal decomposition by controlled-rate thermal analysis. *Journal of Materials Science*. 1996. Vol. 31. No. 19, pp. 5069–5075.

Vietnam's 1st Ceramic Manufacturing Expo

VIETNAM
Ceramics
2018 Hanoi



30-31.8.18

Melia Expo Hall | Hanoi | Vietnam

The 1st premier exhibition & conference of machinery, technology & materials for manufacturing tiles, sanitary ware, tableware & heavy clay in Vietnam

Supported by:



ceramics@aesexhibitions.com
www.VietnamCeramicsExpo.com

VIETNAM Ceramics, powered by ASEAN Ceramics

Co-Organised by VIBCA & AES



УДК 666.94(083.74)

Л.Д. ШАХОВА, д-р техн. наук (shahova_ld@polyplast-nm.ru),
Р.А. КОТЛЯРОВ, канд. техн. наук (kotliarov.ra@polyplast-nm.ru)

ООО «Полипласт Новомосковск» (301661, Тульская обл., г. Новомосковск, Комсомольское ш., 72)

Требования к нормальной густоте, водопотребности и водоотделению цементов для транспортного строительства

В настоящее время в РФ действует параллельно несколько стандартов на цементы для транспортного строительства, в которых отличаются технические требования к качеству продукции. Приведены сравнительные данные по нормативным требованиям к показателям качества цемента для транспортного строительства по отношению к воде, изложенные в различных нормативных документах РФ и зарубежных стран. Показано, что в ASTM и европейских нормах отсутствует такой показатель качества цемента, как водоотделение. Регулирование данного показателя цемента на цементных заводах невозможно, так как он относится к числу неуправляемых параметров. Анализ технической литературы показал, что водоотделение цемента не несет технологической нагрузки при производстве бетонной смеси. А водоотделение бетонной смеси зависит от многих факторов, и в первую очередь от состава самой бетонной смеси и качества ее смешивания. Высказано предложение заменить в стандарте ГОСТ Р 55224-2012 этот показатель качества цемента на показатель «нормальная густота».

Ключевые слова: цемент, транспортное строительство, водоотделение, нормальная густота, водопотребность.

Для цитирования: Шахова Л.Д., Котляров Р.А. Требования к нормальной густоте, водопотребности и водоотделению цементов для транспортного строительства // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 57–60.

L.D. SHAHOVA, Doctor of Sciences (Engineering) (shahova_ld@polyplast-nm.ru),
R.A. KOTLIAROV, Candidate of Sciences (Engineering) (kotliarov.ra@polyplast-nm.ru)
ООО "Polyplast Novomoskovsk" (72, Komsomolskoye Highway, Novomoskovsk, 301661, Tula Region, Russian Federation)

Requirements for Normal Consistency, Water Demand and Water Separation of Cements for Transport Construction

At present, in the Russian Federation, there are several parallel standards on cement for the transport construction which differ by technical requirements for production quality. The comparative data on the regulatory requirements for the quality indexes of cement for the transport construction with regard to water set out in various regulatory documents of the RF and foreign countries are presented. It is shown that in ASTM and European norms there is no such indicator of cement quality as water separation. Regulation of this indicator of cement at cement factories is impossible since it is among the uncontrolled parameters. Analysis of the technical literature shows that the water separation of cement does not carry any technological load when producing the concrete mix. The water separation of the concrete mix depends on many factors, and first of all on the composition of the concrete mix itself and quality of its mixing. It is proposed to replace this indicator of cement quality with the indicator of "normal consistency" in the standard GOST P 55224-2012.

Keywords: cement, transport construction, water separation, normal consistency, water demand.

For citation: Shahova L.D., Kotliarov R.A. Requirements for normal consistency, water demand and water separation of cements for transport construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 57–60. (In Russian).

По ГОСТ 10178–85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» для бетона дорожных и аэродромных покрытий поставляется цемент, изготавливаемый на основе клинкера нормированного состава с содержанием C_3A не более 8 мас. % (п. 1.14). Для бетона дорожных и аэродромных покрытий выпускались следующие типы цементов: бездобавочные цементы ПЦ 400-Д0-Н, ПЦ 500-Д0-Н; добавочные ПЦ 400-Д20-Н и ПЦ 500-Д20-Н при применении в качестве минеральной добавки гранулированного доменного шлака в количестве не более 15%. Дополнительными требованиями к этим цементам были: начало схватывания не ранее 2 ч; удельная поверхность с добавками шлака не менее 280 м²/кг (п. 1.14).

Из всех перечисленных марок и классов цемента до настоящего времени для производителей дорожных бетонов актуален только цемент ПЦ 500-Д0-Н.

В 2002 г. Московским автомобильно-дорожным институтом, ЗАО «Научно-технический центр», ОАО «Научно-исследовательский институт транспортного строительства» (ЦНИИС) разработан стандарт отрасли «Портландцемент для бетонов искусственных сооружений и дорожных одежд Санкт-Петербургской кольцевой автомобильной дороги». Основные требования к качеству цемента в этом документе гармонизированы с требованиями п. 1.14 ГОСТ 10178–85. Также в нем впервые заложены требования по удельной поверхности (не менее 260 и не более 350 м²/кг) и водоотделению (не более 30%).

В 2005 г. разработана «Справочная энциклопедия дорожника. I том. Строительство и реконструкция автомобильных дорог» под редакцией заслуженного деятеля науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А.П. Васильева. В справочнике приведены требования к материалам для строительства цементобетонных покрытий и принципы проектирования состава дорожного бетона. Основными требованиями к цементам стали требования п. 1.14 ГОСТ 10178–85, никаких дополнительных требований к цементам для дорожных бетонов не выдвигалось.

В 2012 г. введен в действие ГОСТ Р 55224–2012 «Цементы для транспортного строительства», разработанный ООО Фирма «Цемискон». В данном стандарте введена новая классификация цементов по областям применения, ужесточены требования к минералогическому составу клинкера и введены новые показатели качества. В этот стандарт вошли требования по удельной поверхности цементов и водоотделению, заложенные еще в СТО для Санкт-Петербургской кольцевой автомобильной дороги. Следует отметить, что значение по водоотделению было ужесточено – не более 28%. Данный стандарт не имеет аналогов в европейской нормативной документации на цементы для транспортного строительства.

Параллельно с ГОСТ 55244–2012 существует ГОСТ 33174–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Цемент. Технические требования», разработанный ООО «Биотех», Межгосударственным тех-

Таблица 1

Требования к цементам для транспортного строительства в Германии

Класс цемента по DIN EN 197-1 и DIN 1164-10	Дополнительные требования
CEM I 32,5 R или CEM I 42,5 N CEM II/A-LL ¹ CEM II/A-LL ¹ CEM II/A-S ¹ CEM II/B-S ¹ CEM II/A-T ¹ CEM II/B-T ¹ CEM III/A≥42,5 ¹	– начало схватывания при 20°C ≥ 2 ч ² – удельная поверхность ≤3500 см ² /г ³ – нормальная густота ≤28% ³ – прочность в 2-суточном возрасте ≤29 МПа ³ – для бетонов верхнего и нижнего слоев применять тот же класс цемента по прочности ⁴ – содержание щелочных оксидов в пересчете на Na ₂ O≤0,8% ⁵ – температура цемента 80°C
Примечание: ¹ По согласованию с потребителем. ² Не применяется к CEM I 42,5R в высокопрочном бетоне. ³ Только для цемента CEM I 32,5R. ⁴ При двухслойном покрытии. ⁵ Для всех портландцементов общее содержание щелочи в пересчете на эквивалент Na ₂ O≤0,8% от массы (для других цементов содержание щелочи в соответствии с Директивой по щелочам.	

ническим комитетом по стандартизации МТК418 «Дорожное хозяйство» и введенный в действие в качестве национального стандарта РФ с 01.07.2015 г. В данном стандарте предложена несколько иная классификация цементов по областям применения. Основные требования повторяют требования ГОСТ 55224–2012. Но содержатся дополнительные требования по нормальной густоте (п. 5.11) – не более 30% и температуре цемента при отгрузке (п. 5.14) – не более 80°C. Требования к верхнему пределу значения удельной поверхности изменены (п. 5.5) – не менее 280 и не более 400 м²/кг.

Европейские нормы к цементам для транспортного строительства сформулированы в документе TL Beton StB 07 [1]. В этом документе требования к цементам в Германии определяются DIN EN 197-1 или в особых случаях DIN 1164-10 с указанием дополнительных требований (табл. 1).

Следует отметить, что дополнительные требования по тонкости помола (не более 3500 см²/г) и нормальной густоте (не более 28%) относятся только к цементу типа CEM I 32,5 R. Таким образом, в требованиях евроном к цементам любого типа нет такого показателя как водоотделение, а для отдельных цементов нормируется только показатель нормальной густоты (Normal consistency).

Рассмотрим определение терминов, касающихся показателей качества цемента при оценке его свойств по отношению к воде, которые приведены в ГОСТ 30515–2013 [2] (табл. 2).

До ввода в действие ГОСТ 30744 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка» [3] водопотребность определялась для цемент-

ного раствора с монофракционным песком по ГОСТ 310.4 [4] по расплыву конуса на встряхивающем столике для подбора В/Ц при изготовлении цементных балочек для испытаний на прочность. В настоящее время такой показатель для цементного раствора с полифракционным песком по ГОСТ 30744 [3] не определяется, так как при изготовлении цементных балочек В/Ц принято постоянным, равным 0,5.

Нормальная густота цементного теста определяется на приборе Вика и оценивается количеством воды в процентах для получения теста нормированной консистенции или пластичности [3].

Показатель водоотделения определяется по ГОСТ 310.6–76 [5]. Методика заключается в смешивании 350 г воды и 350 г цемента. Таким образом, водоцементное отношение составляет 1. Объем осевшего цементного теста (см³) отмечают через 2 ч. Коэффициент водоотделения (объемный) (Кв) в процентах вычисляют по формуле:

$$Kв = (a - в) / a \cdot 100,$$

где *a* – первоначальный объем цементного теста, см³; *в* – объем осевшего цементного теста, см³.

К указанной методике возникает ряд вопросов по корректности определения показателя водоотделения в соответствии с определением термина.

■ Назвать пластичным тестом водоцементную суспензию с массовой концентрацией по твердому веществу 50% при соотношении В/Ц=1 очень затруднительно. Даже в бетонных смесях очень редко встречается такое значение В/Ц.

Таблица 2

Определения терминов по ГОСТ 30515–2013

Термин	Определение
Цементное тесто	Однородная пластичная смесь цемента с водой
Цементный раствор	Однородная смесь цемента, кварцевого песка и воды в любых соотношениях
Стандартный цементный раствор	Однородная смесь цемента, стандартного песка и воды в нормированном отношении
Стандартный песок	Кварцевый природный песок с нормированным зерновым и химическим составом, предназначенный для испытаний цемента
Водоцементное отношение (В/Ц)	Отношение массы воды затворения к массе цемента
Цементно-водное отношение (Ц/В)	Величина, обратная водоцементному отношению
Водопотребность цемента	Водоцементное отношение, при котором достигается нормированная подвижность стандартного цементного раствора
Нормальная густота	Водоцементное отношение в процентах, при котором достигается нормированная консистенция цементного теста
Водоотделение	Количество воды, отделившееся при расслоении цементного теста, хранившегося в нормированных условиях, вследствие седиментационного осаждения частиц цемента

■ Не указаны сроки проведения испытаний: сразу после помола (проба из мельницы); после хранения в лабораторных условиях и в течение какого времени; при отправке партии цемента потребителю (проба из силоса).

■ В соответствии с определением термина по ГОСТ 30515–2012 [2] некорректно относить расслоение суспензии к седиментационному осаждению. Производители цемента знают, что водоотделение одного и того же цемента при одной и той же тонкости помола изменяется после выдерживания цемента длительное время в силосах. Если даже учитывать, что в процессе хранения может происходить укрупнение частиц за счет агломерации при слеживании, то водоотделение должно увеличиваться по закону Стокса. Но, как правило, в процессе хранения водоотделение снижается на 5–15%.

■ Для производителей цемента водоотделение относится к неуправляемому параметру, так как до сих пор нет ясности, от каких факторов он зависит, а *это обуславливает невозможность регулирования данного показателя.*

Наиболее полное исследование по влиянию показателей качества цемента на водоотделение было предпринято на кафедре цементов БГТУ им. Шухова А.С. Нормантовичем под руководством В.М. Коновалова [6]. Показано, что водоотделение *не оказывают влияния* тонкость помола, гранулометрический состав цемента, минералогический состав клинкера. Единственным регулятором водоотделения может служить присутствие в цементе полуводного гипса или активного кремнезема минеральных добавок. Для регулирования сроков схватывания отечественные цементные заводы применяют природный двуводный гипсовый камень. Перевести двуводный сульфат кальция в полуводный можно в процессе измельчения цемента, подняв его температуру на выходе из мельницы выше 110–120°C. Но при этом возникает большая опасность получения цементов с ложным схватыванием. При хранении в силосах такой цемент плохо остывает и к потребителю может поступить горячим. Последствия применения цементов с ложным схватыванием или горячего цемента производители бетона хорошо знают.

Схожая методика по определению декантируемой воды дана в ASTM C940–16 [7]. Данная методика разработана для определения отделенной воды из свежеприготовленного смешанного гидравлического цементного раствора, используемого при производстве бетона отдельной укладки независимо от того, включает ли цементный раствор мелкие заполнители, или минеральные добавки, или и то и другое. При этом водоцементное отношение цементного раствора выдерживается согласно технологии.

История вопроса подтверждает, что требования по водоотделению были сформулированы специалистами по дорожному строительству, на основании якобы взаимосвязи между водоотделением цемента и бетонной (растворной) смеси.

Изготовление и испытания бетона для дорожных покрытий в Евросоюзе производятся на основе норм TL Beton-StB 07 [1] и TP Beton-StB [8]. Состав бетона определяется по результатам контроля в процессе производства. При этом для покрытий строительного класса SV от I до III водоцементное отношение не превышает 0,45, а для покрытий от IV до VI классов – 0,5.

Содержание цемента зависит от местных условий. Для покрытий строительного класса SV от I до III расход цемента должен составлять не менее 340 кг/м³ в уплотненном свежем бетоне. И нигде нет нормированных требований к водоотделению самого цемента как показателя его качества.

В данном случае не рассматривается подробно влияние водоотделения бетонной смеси на качество бетона. Известно только, что все свежеприготовленные бетоны подвержены водоотделению и процесс этот продолжается до тех пор, пока все компоненты смеси не уплотнятся до момента затвердевания. Остановимся вкратце на причинах, вызывающих чрезмерное водоотделение бетонных смесей. Анализ причин **водоотделения бетонных смесей (Blutender Beton (нем.) или Concrete bleeding (англ.))** приведен в работах [9–14].

Исходными и основными причинами водоотделения бетонных смесей являются:

- неправильно подобранный состав бетонной смеси (В/Ц, количество мелкой фракции, содержание очень мелкой фракции в песке, содержание цемента, тип цемента);
- плохое смешивание компонентов.

Факторы, влияющие на водоотделение при укладке бетонных смесей:

- методы обработки и переработки бетонной смеси;
- температура бетонной смеси;
- температура и относительная влажность окружающей среды;
- марка (тип) и степень последующей обработки бетона;
- высота подачи бетонной смеси в опалубку;
- расположение бетонной смеси – горизонтальное (потолки, полы) или вертикальное (колонны, стены).

К способам сокращения водоотделения бетонных смесей относят:

- снижение содержания воды;
- использование тонкомолотых цементов, например тонкомолотые цементы III типа дают более низкое водоотделение бетонной смеси, чем цементы I типа;
- увеличение доли мелких фракций в мелком заполнителе;
- использование дополнительного количества цементных материалов;
- использование воздухововлекающих или стабилизирующих добавок;
- добавление тонкодисперсных наполнителей для регулирования водоотделения в виде каменной муки (известняки, природные пуццоланы, топливные золы).

Таким образом, водоотделение бетонных смесей регулируется совершенно другими способами. Водоотделение подобранных составов бетонных смесей контролируется по двум методикам, нормированным в стандарте ASTM C232 / C232M–14 [15].

Возникают вопросы к показателю водоотделения цемента, нормированного по ГОСТ 55244–2012:

1. Какую технологическую нагрузку несет этот показатель в технологии бетона?

2. Можно ли вносить этот параметр в нормируемый стандарт на цементы для транспортного строительства, если производители цемента не могут обеспечить установленный показатель, особенно на заводах, работающих по сухому способу и на мельницах замкнутого цикла? Водоотделение цементов, выпущенных на цементных заводах нового поколения, превышает значение 30%. Как показала практика обязательной сертификации цементов, введенная с 2016 г., только три предприятия получили сертификаты на дорожные цементы по ГОСТ 55244–2012. А для транспортного строительства продолжают заказывать цемент ПЦ 500-Д0-Н по ГОСТ 10178–85.

Возникает версия, что при переводе требований международных стандартов к цементам для транспортного строительства взамен показателя «нормальная густота» или «водопотребность» (Normal consistency), определяемого по стандартам ASTM 187 [16], EN 196-3 [17], ISO 9597 [18] на приборе Вика (Vicat)), ввели показатель «водоотделение» как показатель качества цемента по водопотребности.

Эксперименты в лабораторных условиях и при проведении промышленных испытаний в отделении помола цемента на ряде цементных заводов подтвердили независимость водоотделения от других показателей качества цемента, которыми могут управлять при производстве цемента, например, удельная поверхность и гранулометрический состав, минералогический состав клинкера, содержание минеральных и технологических добавок. Опыты еще раз подтвердили, что наиболее достижимым способом регулирования водоотделения при производстве цемента является введение в состав цемента даже небольших количеств (1–1,5%) активных минеральных добавок типа опоки или трепела. Однако присутствие этих добавок не допускается требованиями ГОСТ 55244.

В связи с вышеизложенным предлагаем исключить показатель «водоотделение» из стандартов на цементы для транспортного строительства и внести показатель нормальной густоты, значение которой отражает водопотребность самого цемента в составе бетонной смеси и зависит от тонкости помола цемента, минералогического состава клинкера и содержания минеральных добавок.

Список литературы/ References

1. TL Beton StB 07. Technische Lieferbedingungen für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton. <http://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayVwV290273> (Date of access 27.04.18).
2. ГОСТ 30515–2013. Цементы. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 38 с.
2. GOST No. 30515–2013 Cements. General specifications. Moscow: Standartinform. 38 p. (In Russian).
3. ГОСТ 30744–2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. М.: Стандартинформ, 2011. 34 с.
3. GOST No. 30744–2001. Cements. Test methods with use of polyfractional sand. Moscow: Standartinform. 34 p. (In Russian).
4. ГОСТ 310.4–81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. М.: Издательство стандартов, 1992. 15 с.
4. GOST No. 310.4–81. Cements. Methods of determination of strength at a bend and compression. Moscow: Izdatelstvo standartov. 1992. 34 p. (In Russian).

5. ГОСТ 310.6–85. Цементы. Метод определения водоотделения. М.: Издательство стандартов, 1993. 4 с.
5. GOST No. 310.6–85. Cements. Water separation definition method. Moscow: Izdatelstvo standartov. 1993. 15 p. (In Russian).
6. Нормантович А.С. Регулирование процесса водоотделения цементно-водных дисперсных систем. Дисс... канд. техн. наук. Белгород. 2005. 124 с.
6. Normantovich A.S. Regulation of process of water separation of cement-water disperse systems. Cand. Diss. (Engineering). Belgorod. 2005. 124 p. (In Russian).
7. ASTM C940–16. Standard Test Method for Expansion and Bleeding of Freshly Mixed Grouts for Preplaced-Aggregate Concrete in the Laboratory. Philadelphia: American Society for Testing Material (ASTM). 2016.
8. TP Beton-StB Technische Prüfvorschriften für Baustoffe und Baustoffgemische für Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2010. Quelle: FGSV; FGSV Regelwerk R 1 Köln (Deutschland), FGSV Verlag. 2010. 72 p.
9. Egmond B., Hermann K. Bleeding Concrete. *Cement bulletin*. 1999. No. 67, pp. 3–7.
10. Concrete Bleeding. Causes, effects and control. *By Concrete Construction Staff*. 1988. October. http://www.concreteconstruction.net/how-to/construction/concrete-bleeding_o (Date of access 27.04.18).
11. Goguen C. Concrete Bleeding. National Precast Concrete Association. *Precast Inc. Magazine*. 2014. September-October. <https://precast.org/2014/09/concrete-bleeding/> (Date of access 27.04.18).
12. Norm SIA 162/1: Betonbauten Materialprüfung. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein Postfach. 1989. 80 p.
13. Weigler H., Karl S. Beton: Arten, Herstellung, Eigenschaften. Berlin: Ernst. 1989. 292 p.
14. Singh B. Bleeding in concrete. *International journal of civil engineering and technology*. 2013. March–April. Vol. 4, Issue 2, pp. 247–249.
15. ASTM C232 / C232M-14. Standard Test Method for Bleeding of Concrete. American Society for Testing Material (ASTM). 2014.
16. ASTM C187 – 16. Standard Test Method for Amount of Water Required for Normal Consistency of Hydraulic Cement Paste. American Society for Testing Material (ASTM). 2016.
17. BS EN 196-3–2016. Methods of testing cement. Determination of setting times and soundness. British Standards. 2016.
18. ISO 9597:2008. Cement. Test methods. Determination of setting time and soundness specifies the methods for determining standard consistence, setting times and soundness of cements. Geneva: International Organization for Standardization (ISO). 2008.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА



Технология производства стеновых цементно-песчаных изделий

Балакшин Ю.З., Терехов В.А. М.: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ». 2012. – 276 с.

В книге описано производство и применение стеновых материалов методом вибропрессования из цементно-песчаных бетонов. Рассмотрена существующая и перспективная номенклатура изделий и их свойства. Описаны сырьевые материалы для производства цементно-песчаных изделий: песок, щебень, вяжущие и химические добавки.

Сформулированы специфические требования к сырьевым материалам, а также рекомендации по подбору состава бетонной смеси. Подробно представлена технология производства цементно-песчаных вибропрессованных стеновых изделий. Особое внимание уделено технологическому контролю на производстве и техническому контролю и обслуживанию оборудования. Чертежи и табличная информация облегчают восприятие материала. Книга предназначена для организации производственно-технического обучения на предприятии, будет полезна инженерно-техническому персоналу и широкому кругу специалистов.

Заказать литературу можно через редакцию, направив заявку по e-mail: mail@rifsm.ru, или оформить заказ на сайте www.rifsm.ru

А.В. КОЧЕТКОВ¹, д-р техн. наук (soni.81@mail.ru); С.Ю. АНДРОНОВ², канд. техн. наук,
Н.В. ЩЕГОЛЕВА², канд. техн. наук; Ш.Н. ВАЛИЕВ³, канд. техн. наук, В.В. ТАЛАЛАЙ³, инженер

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614600, г. Пермь, Комсомольский пр., 29а)

² Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А. (410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

³ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64)

Отраслевая система управления риском в техническом регулировании транспортного строительства

Государственной компанией «Российские автомобильные дороги» в 2017 г. разработан проект ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Руководство по оценке риска в течение жизненного цикла», который может быть полезен в качестве пособия для проектировщика, оценивающего риски на всем жизненном цикле автомобильной дороги. Авторами ГОСТа обосновывается, что риск необходимо рассматривать в неразрывном единстве с безопасностью объекта, так как от уровня обеспечиваемой безопасности объектов технического регулирования напрямую зависит и уровень риска (вероятности причинения вреда). В качестве измерителя требуемого уровня безопасности предусмотрен универсальный показатель – допустимый риск причинения вреда. При этом проверка соответствия определяется через суммарный риск применения схемы проверки соответствия и риск применения продукции, прошедшей эту проверку. Показано, что создаваемая отраслевая система управления риском в техническом регулировании транспортного строительства должна соответствовать практике работы стран с развитой рыночной экономикой в указанной области. Обосновывается необходимость гармонизации российских стандартов в области строительства с передовыми международными стандартами.

Ключевые слова: нормальное распределение, плотность распределения, критическое значение, математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, теория риска, дорожное хозяйство, автомобильная дорога, геометрические и прочностные параметры, риск разезда, модель, гистограмма распределения, функция Лапласа.

Для цитирования: Кочетков А.В., Андронов С.Ю., Щеголева Н.В., Валиев Ш.Н., Талалай В.В. Отраслевая система управления риском в техническом регулировании транспортного строительства // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 61–67.

A.V. KOCHETKOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (soni.81@mail.ru); S.Yu. ANDRONOV², Candidate of Sciences (Engineering),
N.V. SHCHEGOLEVA², Candidate of Sciences (Engineering); Sh.N. VALIEV³, Candidate of Sciences (Engineering), V.V. TALALAY³, Engineer

¹ Perm National Research Polytechnic University (29a, Komsomolsky prospect, Perm. 614600, Russian Federation)

² Yuri Gagarin State Technical University of Saratov (77, Politekhnikeskaya Street, Saratov, 410054, Russian Federation)

³ Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (64, Leningradsky prospect, Moscow, 125319, Russian Federation)

A Branch System of Risk Control in Technical Regulation of Transport Construction

In 2017 the State Company Avtodor developed a draft GOST R "Public Automobile Roads. Risk Assessment Guidance during the Life Cycle" which can be useful as a manual for a designer assessing risks during the whole life cycle of an automobile road. The authors of GOST substantiate that the risk must be considered in unbreakable unity with the safety of the object, since the level of risk (the probability of harm) directly depends on the level of providing safety of objects of technical regulation. As a meter of the required level of safety, a universal indicator is provided – the admissible risk of harm. At that, this conformity check is determined through the summary risk of the application of the conformity assessment scheme and the risk of the use of products that have passed this check. It is shown that the created branch system of risk control in the technical regulation of transport construction should correspond to the practice of countries with developed market economy in this field. The necessity of harmonization of Russian standards in the construction field with advanced international standards is substantiated.

Keywords: normal distribution, distribution density, critical value, mathematical expectation, mean-square deviation, risk theory, road facilities, automobile road, geometric and strength parameters, risk of passing, model, distribution histogram, Laplace's function.

For citation: Kochetkov A.V., Andronov S.Yu., Shchegoleva N.V., Valiev Sh.N., Talalay V.V. A branch system of risk control in technical regulation of transport construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 61–67. (In Russian).

Согласно ст. 4 Презумпции соответствия технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» (ТР ТС 014/2011) соответствие автомобильных дорог и дорожных сооружений на них настоящему техническому регламенту обеспечивается выполнением его требований к безопасности непосредственно либо выполнением требований международных и региональных стандартов. В случае их отсутствия – выполнением требований национальных (государственных) стандартов государств – членов Таможенного союза, результат применения которых на добровольной основе обеспечивает соблюдение требований принятого ТР ТС 014/2011, а также необходимых требований для осуществления оценки (подтверждения) соответствия. Из данной статьи следует вывод о необязательности выполнения требований международных, региональных и национальных стандартов.

В качестве процедуры технического регулирования дорожного хозяйства предлагается альтернативная система выдачи свидетельств (сертификатов) регистрации соответствия о проведении экспертизы и регистрации соответствия применения стандартов организации. Услугу экспертизы и регистрации соответствия в отношении стандартов организациям предлагается проводить на основе Соглашения РФ с ВТО о технических барьерах в торговле и Договора о Евразийском экономическом союзе (Приложение 9) вместо проверки соответствия по ГОСТ ТР ТС 014/2011 и выполнять в виде приложения (протокол об оценке риска причинения вреда вместо проверки соответствия по ГОСТу, предоставляется по запросам органов инспекции) к данному сертификату (свидетельству) регистрации соответствия, где за основу применяется схема проверки соответствия 1Д.

В свидетельстве регистрации соответствия устанавливаются, что риск недостижения целей и требований технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» для регистрируемого стандарта организации минимальный. Объект экспертизы может быть применен без ограничений (с ограничениями) на всех объектах и этапах жизненного цикла автомобильных дорог общего пользования и сооружений на них, что подтверждают положения международных соглашений РФ в области технического регулирования.

Например, Соглашением о единых принципах и правилах технического регулирования в Республике Беларусь, Республике Казахстан и РФ применение на добровольной основе международных, региональных стандартов и (или) национальных (государственных) стандартов, включенных в перечень, указанный в п. 2 ст. 6 настоящего Соглашения, является лишь **достаточным, но не необходимым** условием соблюдения требований соответствующего технического регламента Таможенного союза. Неприменение стандартов, включенных в указанный перечень, не может рассматриваться как несоблюдение требований технических регламентов Таможенного союза.

Постановка проблемы.

Начало нового столетия ознаменовалось необходимостью реформирования сложившейся за многие десятилетия системы технического нормирования, в связи с чем был принят Федеральный закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании».

Технические регламенты должны устанавливать минимально необходимые требования, обеспечивающие различные виды безопасности с учетом степени риска причинения вреда. Это означает, что риск необходимо рассматривать в неразрывном единстве с безопасностью объекта, так как от уровня обеспечиваемой его безопасности напрямую зависит и уровень риска (вероятности причинения вреда). В качестве измерителя требуемого уровня безопасности предусмотрен универсальный показатель – допустимый **риск** причинения вреда [1–5]. Это подтверждается решением Комиссии Таможенного союза от 7.04.2011 г., в котором проверка соответствия определяется через суммарные риски применения схемы проверки соответствия и применения продукции, прошедшей эту проверку.

Создаваемая единая система технического нормирования безопасности и качества материалов, изделий, конструкций и услуг в дорожном хозяйстве должна соответствовать практике работы стран с развитой рыночной экономикой в указанной области. Предусматривается гармонизация российских стандартов в области строительства с передовыми международными стандартами. В связи с тем, что все контролируемые параметры объектов строительства, технологические режимы, параметры эксплуатации, климатические условия являются неоднородными и вариативными по своей природе, необходимо производить оценку риска на вероятностной основе шкальным (по степени) или количественным способом [6–8].

Предлагается усовершенствовать научно-методическое обеспечение технического регулирования дорожного хозяйства с использованием теоретико-вероятностного подхода [8–12].

Должны быть применены положения ГОСТ Р 54257–2010 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования» и ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований».

В этих ГОСТах регламентируется применение вероятностно-статистических методов для обоснования нормативных и расчетных характеристик материалов и оснований, нагрузок и коэффициентов сочетаний, что допу-

скается при наличии достаточных данных об изменчивости основных параметров в случае, если количество (длина ряда) данных позволяет проводить их статистический анализ (в частности, эти данные должны быть однородными и статистически независимыми). Это допускается при наличии эффективных вероятностных методик учета случайной изменчивости основных параметров, соответствующих принятой расчетной схеме.

В 2017 г. разработан проект национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Руководство по оценке риска в течение жизненного цикла».

Материалы настоящей статьи являются научной основой его разработки и сопровождения. В рамках данного научного направления должны быть решены следующие задачи [13–20]:

- провести аналитический обзор применения принципов технического регулирования в дорожном хозяйстве;
 - на основе использования морфологического подхода сформировать перечень направлений и методов оценки показателей надежности, однородности и технических рисков применительно к объектам дорожного хозяйства;
 - усовершенствовать методы применения принципов технического регулирования для объектов дорожного хозяйства на основе оценок и расчета технического риска;
 - разработать методы гармонизации старой (до 2002 г.) и новой систем технического регулирования применительно к объектам дорожного хозяйства и методике классификации автомобильных дорог как линейных сооружений по степени ответственности с учетом действующего законодательства РФ в области технического регулирования;
 - усовершенствовать методы теоретико-вероятностного подхода оценки технического риска в дорожном хозяйстве и методическое обеспечение мониторинга оценки технических рисков в дорожном хозяйстве.
- Достижение целей технического регулирования в дорожном хозяйстве должно осуществляться установлением в специальных технических регламентах обязательных требований по безопасности жизни и здоровья людей, сохранности имущественного комплекса объектов транспортного строительства на автомобильных дорогах и экологической безопасности при проектировании, строительстве (реконструкции), а также в процессе содержания мостовых сооружений.

Технические регламенты в дорожном хозяйстве должны устанавливать требования к нормативным нагрузкам, геометрическим элементам автомобильных дорог и мостовых сооружений на них (включая элементы плана и профиля), ограждениям и направляющим устройствам, срокам службы, эксплуатационным параметрам и др.

Особый приоритет имеет совершенствование существующей нормативной технической базы дорожного хозяйства, гармонизация национальных стандартов с передовыми международными стандартами.

Необходимо осуществлять установление требований к качеству дорожно-строительных материалов, изделий и конструкций, а также к качеству выполнения дорожных работ с помощью технических заданий на проектирование и конкурсной документации на строительство (реконструкцию) и ремонт. Установление заказчиком требований к качеству должно осуществляться в зависимости от условий и факторов, оказывающих прямое влияние на безопасность и долговечность объектов.

Требования к техническим регламентам, а значит, и ко всем группам документов по уровню безопасности (по уровню допустимого риска) будут зависеть только от того, находится ли транспортное сооружение (обеспече-

ние безопасности при проектировании, строительстве или реконструкции сооружения) в начале жизненного цикла или данный объект уже существует (обеспечение безопасности при его эксплуатации).

Требуют решения вопросы, связанные с подтверждением соответствия, в том числе с определением перечня продукции дорожного хозяйства, подлежащей обязательной сертификации (например, несущие конструкции искусственных сооружений, технические средства организации дорожного движения и др.).

Системы менеджмента качества регулируются новым нормативным документом ИСО 9000—2015, в котором в качестве критерия качества используются показатели риска. В новой структуре этого стандарта отражен процессный подход с учетом оценки риска. Важно отметить появление п. 6.1 «Действия по реагированию на риски и возможности» — это принципиально новый блок требований ISO 9001:2015. Организация должна определить риски и возможности, которые способны повлиять на систему качества и результаты ее работы, создать план реагирования на риски и возможности. Система аккредитации отвечает за установившийся порядок сличения результатов и испытаний и измерений с показателями ГОСТов, а риск-менеджмент — за возможность использования инновационной и некондиционной продукции, а также за применение несовершенных или ошибочных стандартов.

В дорожном хозяйстве РФ предлагается создать альтернативную систему экспертизы и регистрации соответствия (на правах аккредитации) в виде отраслевой системы управления риском в техническом регулировании транспортного строительства. Для ее создания необходимо организовать и провести следующие работы и мероприятия:

- разработать комплекс национальных стандартов, обобщающих доказательную базу оценки риска недостижения целей и требований выполнения технических регламентов, нормативных документов и договоров в сфере дорожного хозяйства, комплекс методических документов рекомендательного характера в сфере расчета риска в техническом регулировании дорожного хозяйства, перечень мероприятий по созданию национальной и отраслевой системы управления риском;
- пересмотреть и актуализировать действующие государственные и межгосударственные стандарты, стандарты отрасли, строительные нормы и правила, а также отраслевые дорожные нормы с учетом оценки, расчета и управления риском;
- создать альтернативную систему экспертизы и регистрации оценки соответствия на основе систем добровольной сертификации в виде анализа и оценки риска вместо проверки соответствия по ГОСТам в дорожном хозяйстве для решения задач, связанных с выявлением и обоснованием использования форм и видов оценки соответствия;
- реализовать новые механизмы заключения государственных контрактов на выполнение дорожных работ с обеспечением высокого качества их выполнения с учетом показателей риска;
- установить перечень документов проверки соответствия (декларации соответствия по схеме 1Д и свидетельства регистрации соответствия, экспертные заключения и сертификаты по оценке риска как услуги, не подпадающей под действия процедур национальной системы аккредитации);
- создать информационный фонд отраслевой системы управления риском с включением в автоматизированный банк дорожных данных (АБДД «ДОРОГА»). Указанные вопросы получили свою практическую разрешимость в связи с тем, что Федеральным агент-

ством по техническому регулированию и метрологии зарегистрирована «Система добровольной сертификации испытательных лабораторий (центров) «Межотраслевые системы качества» (РОСС RU.1481.04ФГЖ1), в рамках которой осуществляются работы по подтверждению технической компетенции и независимости испытательных лабораторий на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025—2006. Объектами сертификации в «Системе» является деятельность испытательных лабораторий (центров) и организаций, предоставляющих и выполняющих услуги, которая соответствует коду 74.3 Раздела К ОКВЭД (КДЕС ред. 1) «Технические испытания, исследования и сертификация. Область применения «Системы», наименования видов деятельности испытательных лабораторий (центров), организаций, выполняющих услуги, соответствует области действия Федерального закона № 184-ФЗ. Добровольное подтверждение соответствия осуществляется по инициативе заявителя на условиях его договора с органом по сертификации и может осуществляться для установления соответствия национальным стандартам, предварительным национальным стандартам, стандартам организаций, сводам правил, системам добровольной сертификации, условиям договоров.

Организационная структура «Системы» включает следующих участников: лицо, создавшее «Систему», — ООО «Центр сертификации аккредитации (аттестации) «Межотраслевые системы качества»; руководящий орган «Системы» — ООО «Центр сертификации аккредитации (аттестации) «Межотраслевые системы качества»; совет «Системы» центр экспертизы; центр регистрации; апелляционная комиссия; органы по сертификации; центр по обучению экспертов и разработке методического обеспечения.

Также в состав отраслевой системы управления риском в техническом регулировании транспортного строительства входят: «Система добровольной сертификации различных типов органов инспекции» (РОСС RU.31476.04ИДУ0); «Система добровольной сертификации персонала испытательных лабораторий (центров)»; «Межотраслевые «Системы качества» (РОСС RU.31477.04ИДФ0); «Система добровольной сертификации ИНЖЕНЕРОВ-МСК (РОСС RU.1478.04ИДХ0)».

Вопросы проверки соответствия относятся к техническому регулированию по отношению к техническим регламентам и ГОСТам, обеспечивающим их доказательную базу, в котором задаются минимально необходимые требования по безопасности. Между тем понятия технического надзора, технологической экспертизы, мониторинга, инженерно-технического сопровождения могут быть отнесены и к повышенным требованиям по безопасности, изложенным в других нормативных и технических документах, например специальных технических условиях, а также дополнительных условиях контрактной технической и проектной документации.

При проверке (оценке) соответствия должны быть учтены условия международных соглашений РФ, отличных от положений Федерального закона «Об аккредитации в национальной системе аккредитации». В последнем отмечается, что если международным договором РФ установлены иные правила, чем те, которые предусмотрены настоящим Федеральным законом, должны применяться правила международного договора РФ.

Международные соглашения РФ (Соглашение по техническим барьерам в торговле ВТО, Приложение 9; Протокол о техническом регулировании в рамках Евразийского экономического союза, Договор от 29.05.2001 (г. Астана) («Договор о Евразийском экономическом союзе»), Решение комиссии Таможенного союза от 07.04.2011 № 621 «О Положении о порядке применения типовых схем оценки (подтверждения) со-

ответствия требованиям технических регламентов Таможенного союза» предусматривают оценку риска как услугу, выходящую из правоприменения Федерального закона «Об аккредитации в национальной системе аккредитации».

На основе этих соглашений может быть решена задача гармонизации старой системы технического нормирования (с учетом надежности) и новой системы технического регулирования (с учетом степени риска причинения вреда).

Существующим мировым опытом обществу предлагается установить нормативы предельно допустимого уровня (ПДУ) индивидуального риска смерти, а также уровня социального риска. Для потенциально опасных производственных объектов России в целом целесообразно установление ПДУ индивидуального риска для населения, не превышающего 10^{-4} вероятностей причинения вреда в год в качестве общего федерального норматива.

Выделение рисков в рамках функциональных подсистем позволяет более точно определить способы управления ими в практической деятельности. В качестве характеристики степени опасности используют суммарный риск как комплексный показатель качества, который может возникнуть на данном строительном объекте под совокупным одновременным воздействием всех факторов и параметров различной природы. Наряду с обсуждением понятий риска вводится понятие гарантии как величины, соответствующей технической надежности и экономической составляющей объекта оценки.

Для существенного упрощения расчета рисков предлагается метод оценки площади «хвоста» гистограммы распределения, построенной по экспериментальным (натурным, производственным) данным. С позиции квалиметрии риск может быть рассмотрен как мера проявления нежелательного последствие в результате принятия решения, которая определяется в трех основных шкалах — категориальной, вероятностной и временной. К результатам применения новой системы технического регулирования можно отнести понятия «наведенной однородности», «минимизация коэффициента вариации», «соответствие требуемому уровню ответственности» и «укороченных и угловых «хвостов» распределений управляемого и неуправляемого процессов», «декоррелированность выходного параметра».

Выделение рисков в рамках функциональных подсистем позволяет более точно определить способы управления рисками в практической деятельности. В качестве характеристики степени опасности участка автомобильной дороги используется суммарный риск как комплексный показатель качества автомобильной дороги, который может возникнуть на данном участке под совокупным одновременным влиянием всех воздействующих факторов и параметров различной природы.

Федеральным законом «О техническом регулировании» установлено, что в случае, если в результате несоответствия продукции требованиям технических регламентов, нарушений требований технических регламентов при осуществлении процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации **причинен вред** жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений, **а также если возникла угроза причинения такого вреда, изготовитель** (исполнитель, продавец, лицо, выполняющее функции иностранного изготовителя) обязан возместить причиненный вред и **принять меры в целях его недопущения** в соответствии с законодательством РФ. Обязанность возместить вред не может быть ограничена договором или заявлением одной из сторон.

Соглашения или заявления об ограничении ответственности ничтожны.

Необходимо отметить, что авторами настоящей статьи разработан проект национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Руководство по оценке риска в течение жизненного цикла». Материалы настоящей работы являются научной основой его разработки и сопровождения.

Монография авторов [3] посвящена вопросам совершенствования и отраслевой реализации методов нормирования, оценки и управления надежностью и техническими рисками в техническом регулировании дорожного хозяйства.

Новизна монографии состоит в разработке научных основ методов нормирования, оценки и управления рисками в техническом регулировании дорожным хозяйством.

Работа содержит новые научно обоснованные результаты, позволившие решить важную прикладную проблему совершенствования методов менеджмента качества в дорожном хозяйстве и мостостроении на основе отработки и формирования методологических основ теоретико-вероятностного подхода с применением теории риска.

Актуально публичное обсуждение проекта национального стандарта ГОСТ Р «Дороги автомобильные общего пользования. Руководство по оценке риска в течение жизненного цикла», разработанного Государственной компанией «Российские автомобильные дороги» в 2017 г. Он может быть полезен в качестве пособия для проектировщика, оценивающего риски на всем жизненном цикле автомобильной дороги, а также при реализации федеральной целевой программы «Повышение безопасности дорожного движения в 2013–2020 гг.».

Отметим, что высшей формой проверки соответствия на автомобильных дорогах общего пользования является ТР ТС 014/2011, который распространяется на автомобильные дороги общего пользования одновременно со 176 ГОСТами этого технического регламента, в соответствии с п. 5 ст. 1 «...не распространяется на улицы населенных пунктов».

На сегодняшний день нет действующего документа, регламентирующего отнесение (классификацию) и техническое регулирование объектов улично-дорожной сети населенного пункта к понятию «улицы населенных пунктов», что позволило бы снять избыточную административную и техническую нагрузку на дорожное хозяйство населенного пункта.

При этом в п. 8 ст. 5 ФЗ № 257 указано, что критерии отнесения автомобильных дорог общего пользования к таковым регионального или межмуниципального значения и их перечень утверждаются высшим исполнительным органом государственной власти субъекта РФ.

Действие ТР ТС 014/2011 распространяется на всю улично-дорожную сеть населенных пунктов, за исключением улиц. Должно быть понятно, что он распространяется на мостовые сооружения, тоннели, проезды, площади, дворовые территории, дорожно-тропиночные сети парков, набережных и др. и относится также к нормативному обеспечению, техническому надзору, строительному и лабораторному контролю, сертификации применяемых дорожно-строительных материалов [1–5].

С учетом вышесказанного, предлагается разработка типовых методических рекомендаций для населенных пунктов по терминологии, применению новых принципов технического регулирования и проверке соответствия для обобщенного понятия улицы (как улично-дорожной сети населенных пунктов), указанного как исключенный термин в ТР ТС 014/2011. Необходим системный анализ методических документов, применяемых на территории населенного пункта, и выработка

малозатратных (экономически эффективных) предложений по приведению нормативного обеспечения дорожной деятельности на территории населенного пункта в соответствие с требованиями ТР ТС 014/2011, а также по использованию лучших практик применения его доказательной базы.

Необходимо разработать терминологию и классификацию улично-дорожной сети населенного пункта, не подпадающую под действие ТР ТС 014/2011; провести анализ правоприменения и выбор схем проверки соответствия, не требующих использования работ и документов Федеральной службы по аккредитации; определить порядок взаимодействия между испытательной лабораторией или центром и заказчиком; выбрать системы добровольной сертификации, имеющие право выдавать документы о регистрации соответствия.

На основе использования современной лабораторной базы будет выполнен комплекс испытаний дорожно-строительных материалов в соответствии с государственными стандартами Таможенного союза по обязательному и добровольному перечням и выбраны лучшие практики, рекомендуемые для расширенного применения на улично-дорожной сети населенного пункта.

Проведение системного анализа действующей нормативной базы городского дорожного строительства позволит обеспечить эффективное практическое использование международных соглашений Российской Федерации и федерального законодательства в области технического регулирования и проверки соответствия на улично-дорожной сети населенного пункта.

В результате создания методического документа будет полностью и в кратчайший срок решена задача использования лучших практик применения ТР ТС 014/2011 на улично-дорожной сети населенного пункта и его доказательной базы.

Ожидаемые результаты:

- осуществление системного анализа действующей нормативной базы дорожного хозяйства населенного пункта, который позволит обеспечить эффективное практическое использование международных соглашений РФ и федерального законодательства в области технического регулирования и проверки соответствия на улично-дорожной сети населенного пункта;
- проведение комплекса испытаний дорожно-строительных материалов по государственным стандартам ТР ТС 014/2011 и определение лучших практик, которые будут рекомендованы для расширенного применения на улично-дорожной сети населенного пункта;
- разработка методических рекомендаций для населенного пункта по терминологии, применению новых принципов технического регулирования и проверке соответствия для обобщенного понятия улицы (как улично-дорожной сети населенных пунктов), указанного как исключенный термин в ТР ТС 014/2011,

Список литературы

1. Аржанухина С.П., Кочетков А.В., Козин А.С., Стрижевский Д.А. Нормативное и технологическое развитие инновационной деятельности дорожного хозяйства // *Наукоедение*. Интернет-журнал. 2012. № 4 (13). С. 69.
2. Аржанухина С.П., Кочетков А.В., Козин А.С., Стрижевский Д.А. Совершенствование структуры отраслевой диагностики федеральных автомобильных дорог // *Наукоедение*. Интернет-журнал. 2012. № 4 (13). С. 70.
3. Васильев Ю.Э., Валиев Ш.Н., Щеголева Н.В. и др. Оценка технических рисков в техническом регулировании дорожного хозяйства. М.: МАДИ, 2017. 295 с.

с системным анализом методических документов, применяемых на территории населенного пункта, и выработкой малозатратных предложений по приведению нормативного обеспечения дорожной деятельности на его территории в соответствие с требованиями ТР ТС 014/2011, а также использование лучших практик применения его доказательной базы.

В результате применения методических документов повысится точность, объективность, достоверность и воспроизводимость данных по проверке соответствия для дорожных работ на всех этапах жизненного цикла объектов улично-дорожной сети населенного пункта.

Будет достигнуто опережающее развитие и эффективная организация деятельности лабораторной испытательной базы, повышение уровня (степени) контроля объектов измерений и испытаний, гармонизация нормативных актов и обеспечение соблюдения требований федеральных и международных нормативных правовых актов в области технического нормирования и регулирования городского дорожного хозяйства.

Мероприятия позволят достигнуть экономии от уменьшения затрат на закупку лабораторной базы предприятиями и организациями разных форм собственности – до 1,9–2,3 млрд р., сократить избыточный персонал дорожных испытательных лабораторий до 90–130 человек в масштабах только г. Москвы.

Будет достигнуто устранение необходимости применения действующих нормативных документов в области дорожного хозяйства, имеющих технические и текстовые ошибки и погрешности; повышена производительность работ по проверке соответствия услуг, работ, материалов, изделий и конструкций в дорожном хозяйстве населенного пункта.

Выводы.

В дорожном хозяйстве Российской Федерации может быть создана своя альтернативная система (подсистема) экспертизы и регистрации соответствия (на правах аккредитации) в виде отраслевой системы управления риском в техническом регулировании транспортного строительства.

Важным результатом применения риск-менеджмента является сокращение затрат (на один, иногда до трех порядков) на получение и анализ требуемой информации для принятия решения о сравнении проектных и технических решений для конкретных объектов технического регулирования, в том числе инноваций, и их этапов жизненного цикла.

Предлагаются к разработке малозатратные предложения по развитию и гармонизации действующей нормативной базы дорожного строительства населенного пункта с требованиями ТР ТС «Безопасность автомобильных дорог», в том числе по классификации, терминологии, техническому регулированию и проверке соответствия улиц и улично-дорожной сети населенных пунктов [21–23].

References

1. Arzhanuhina S.P., Kochetkov A.V., Kozin A.S., Strizhevskij D.A. Normative and technological development of road sector innovation activity. *Naukovedenie*. Internet-journal. 2012. No. 4 (13), p. 69. (In Russian).
2. Arzhanuhina S.P., Kochetkov A.V., Kozin A.S., Strizhevskij D.A. Improvement of the structure of industry diagnostics of federal highways. *Naukovedenie*. Internet-journal. 2012. No. 4 (13), p. 70. (In Russian).
3. Vasil'ev Yu.Em., Valiev SH.N., Shchegoleva N.V. Ocenka tekhnicheskikh riskov v tekhnicheskom regulirovanii dorozhnogo hozhaystva [Assessment of technical risks in the technical regulation of road facilities]. Moscow: MADI. 2017. 295 p.



4. Кочетков А.В., Янковский Л.В. Перспективы развития инновационной деятельности в дорожном хозяйстве // *Инновационный транспорт*. 2014. № 1 (11). С. 42–45.
5. Кочетков А.В., Гладков В.Ю., Немчинов Д.М. Проектирование структуры информационного обеспечения системы менеджмента качества дорожного хозяйства // *Наукоедение*. Интернет-журнал. 2013. № 3 (16). С. 72.
6. Кокодеева Н.Е., Талалай В.В., Кочетков А.В., Аржанухина С.П., Янковский Л.В. Методологические основы оценки технических рисков // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2012. № 28. С. 126–134.
7. Катасонов М.В., Лескин А.И., Кочетков А.В., Сыроежкина М.А., Шеголева Н.В., Задворнов В.Ю. Математическая модель прогнозирования аварийности дорожного движения на сети автомобильных дорог и в местах концентрации дорожно-транспортных происшествий // *Наукоедение*. Интернет-журнал. 2017. Т. 9. № 1 (38). С. 33.
8. Муравьева Н.А., Столяров В.В. Оценка влияния дорожных условий на механизм дорожно-транспортных происшествий // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. 2016. Т. 3. № 3 (6). С. 330–334.
9. Аржанухина С.П., Сухов А.А., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Организационно-экономический механизм инновационной деятельности дорожного хозяйства // *Инновационный Вестник Регион*. 2012. № 4. С. 40–45.
10. Челпанов И.Б., Евтеева С.М., Талалай В.В., Кочетков А.В., Юшков Б.С. Стандартизация испытаний строительных, дорожных материалов и изделий // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2011. № 2. С. 57–68.
11. Валиев Ш.Н., Кокодеева Н.Е., Карпеев С.В., Бородин Р.К., Кочетков А.В. Предложения по совершенствованию нормативных документов по оценке надежности, однородности и технических рисков в дорожном хозяйстве Российской Федерации // *Грузовик*. 2017. № 1. С. 32–39.
12. Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Каменев В.В., Шляфер В.Л. Статистические методы организации контроля качества при производстве дорожно-строительных материалов // *Качество. Инновации. Образование*. 2011. № 5 (72). С. 46–51.
13. Столяров В.В., Немчинов Д.М., Гусев В.А., Шеголева Н.В. Математическая модель транспортного потока, основанная на микроскопической теории «следования за лидером» // *Дороги и мосты*. 2016. № 34. С. 20.
14. Столяров В.В., Шеголева Н.В. Некоторые исторические рубежи развития теории риска (от зарождения до наших дней) // *Транспортные сооружения* Интернет-журнал. 2016. Т. 3. № 3. <http://t-s.today/PDF/02TS316.pdf> (дата обращения 15.01.2018).
15. Столяров В.В., Шеголева Н.В. О границах применимости нормального закона распределения вместо биномиального распределения при статистической обработке дискретных целочисленных величин // *Транспортные сооружения* Интернет-журнал. 2016. Т. 3. № 3. <http://t-s.today/PDF/05TS316.pdf> (дата обращения 15.01.2018).
16. Столяров В.В., Шеголева Н.В. Примеры расчета вероятностей при обработке дискретных данных по нормальному и биномиальному распределениям // *Транспортные сооружения*. Интернет-журнал. 2016. Т. 3. № 3. <https://t-s.today/PDF/06TS316.pdf> (дата обращения 15.01.2018).
4. Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V. Prospects for the development of innovative activities in the road sector. *Innovatsionniy transport*. 2014. No. 1 (11), pp. 42–45. (In Russian).
5. Kochetkov A.V., Gladkov V.YU., Nemchinov D.M. Designing the structure of information support for the quality management system of road facilities. *Naukovedenie*. Internet-journal. 2013. No. 3 (16), pp. 72. (In Russian).
6. Kokodeeva N.E., Talalay V.V., Kochetkov A.V., Arzhanukhina S.P., Yankovskiy L.V. Methodological basis for technical risk assessment. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2012. No. 28, pp. 126–134. (In Russian).
7. Katasonov M.V., Leskin A.I., Kochetkov A.V., Syroezhkiya M.A., Shchegoleva N.V., Zadvornov V.Yu. Mathematical model for prediction of traffic accidents on the road network and in places where traffic accidents are concentrated. *Naukovedenie*. Internet-journal. 2017. Vol. 9. No. 1 (38), p. 33. (In Russian).
8. Murav'eva N.A., Stolyarov V.V. Estimation of influence of road conditions on the mechanism of road and transport incidents. *Al'ternativnye istochniki energii v transportno-tehnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy ratsional'nogo ispol'zovaniya*. 2016. Vol. 3. No. 3 (6), pp. 330–334. (In Russian).
9. Arzhanukhina S.P., Sukhov A.A., Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V. Organizational and economic mechanism of innovative activity of road economy. *Innovatsionnyy Vestnik Region*. 2012. No. 4, pp. 40–45. (In Russian).
10. Chelpanov I.B., Evteeva S.M., Talalay V.V., Kochetkov A.V., Yushkov B.S. Standardization of tests of construction, road materials and products. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2011. No. 2, pp. 57–68. (In Russian).
11. Valiev Sh.N., Kokodeeva N.E., Karpeev S.V., Borodin R.K., Kochetkov A.V. Proposals for the improvement of normative documents on the assessment of reliability, uniformity and technical risks in the road economy of the Russian Federation. *Gruzovik*. 2017. No. 1, pp. 32–39. (In Russian).
12. Kochetkov A.V., Vasil'ev Yu.E., Kamenev V.V., Shlyaf'er V.L. Statistical methods of organization of quality control in the production of road building materials. *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie*. 2011. No. 5 (72), pp. 46–51. (In Russian).
13. Stolyarov V.V., Nemchinov D.M., Gusev V.A., Shchegoleva N.V. The mathematical model of the transport flow, based on the microscopic theory of “following the leader”. *Dorogi i mosty*. 2016. No. 34, p. 20. (In Russian).
14. Stolyarov V.V., Shchegoleva N.V. Some historical boundaries of the development of the theory of risk (from inception to our days). *Transportnye sooruzheniya* Internet-journal. 2016. Vol. 3. No. 3. <http://t-s.today/PDF/02TS316.pdf> (date of access 15.01.2018).
15. Stolyarov V.V., Shchegoleva N.V. On the limits of applicability of the normal distribution law instead of the binomial distribution in the statistical processing of discrete integer values. *Transportnye sooruzheniya* Internet-journal. 2016. Vol. 3. No. 3. <http://t-s.today/PDF/05TS316.pdf> (date of access 15.01.2018).
16. Stolyarov V.V., Shchegoleva N.V. Examples of calculating probabilities for processing discrete data for normal and binomial distributions. *Transportnye sooruzheniya*. Internet-journal. 2016. Vol. 3. No. 3. <https://t-s.today/PDF/06TS316.pdf> (date of access 15.01.2018).
17. Skachkov Yu.P., Stolyarov V.V., Bazhanov A.P. Nauchno-metodicheskiy podkhod k otsenke tekhnicheskikh i ekologicheskikh riskov v protsesse primen-

17. Скачков Ю.П., Столяров В.В., Бажанов А.П. и др. Научно-методический подход к оценке технических и экологических рисков в процессе применения принципов технического регулирования к объектам дорожной деятельности. Пенза: ПГАСУ, 2012. 244 с.
18. Столяров В.В., Щеголева Н.В., Кочетков А.В. Определение входных параметров для математических моделей оценки риска потери информации // *Грузовик*. 2016. № 11. С. 40–44.
19. Столяров В.В., Щеголева Н.В., Валиев Ш.Н., Кочетков А.В. Методические подходы совершенствования нормативного обеспечения технического регулирования дорожного хозяйства с учетом теории риска // *Грузовик*. 2016. № 7. С. 45–48.
20. Столяров В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска. Саратов: Саратовский государственный технический университет, 1994. 232 с.
21. Столяров В.В., Щеголева Н.В., Кочетков А.В., Задворнов В.Ю. Основные формулы теории риска при суммировании логнормальных законов распределения. // *Строительные материалы*. 2018. № 1–2. С. 73–80.
22. Валиев Ш.Н., Кокодеева Н.Е., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Моделирование риска возникновения дорожно-транспортных происшествий с учетом вариативности макрошероховатости покрытий проезжей части на автомобильных дорогах и мостовых сооружениях // *Строительные материалы*. 2016. № 5. С. 22–26.
23. Валиев Ш.Н., Кокодеева Н.Е., Карпеев С.В., Кочетков А.В. Основные направления совершенствования Технического регламента Таможенного союза «Безопасность автомобильных дорог» // *Строительные материалы*. 2016. № 3. С. 56–60.
- eniya printsiptov tekhnicheskogo regulirovaniya k ob"ektam dorozhnoy deyatel'nosti [Scientific and methodical approach to the assessment of technical and environmental risks in the process of applying the principles of technical regulation to the objects of road activity]. Penza: PGASU. 2012. 244 p.
18. Stolyarov V.V., Shchegoleva N.V., Kochetkov A.V. Determination of input parameters for mathematical models of information loss risk assessment. *Gruzovik*. 2016. No. 11, pp. 40–44. (In Russian).
19. Stolyarov V.V., Shchegoleva N.V., Valiev Sh.N., Kochetkov A.V. Methodical approaches to improve the regulatory support for technical regulation of road facilities, taking into account the risk theory. *Gruzovik*. 2016. No. 7, pp. 45–48. (In Russian).
20. Stolyarov V.V. Proektirovanie avtomobil'nykh dorog s uchetom teorii riska [Design of highways taking into account the theory of risk]. Saratov: Saratov State Technical University 1994. 232 p.
21. Stolyarov V.V., Shchegoleva N.V., Kochetkov A.V., Zadvornov V.Yu. Basic formulas of the risk theory when summing lognormal distribution laws. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 1–2, pp. 73–80. (In Russian).
22. Valiyev SH.N., Kokodeeva N.E., Kochetkov A.V., Yankovsky L.V. Simulation of risk of traffic accidents occurrence with due regard for variability of macro-roughness of pavements of traffic way on highways and bridge constructions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 5, pp. 22–26. (In Russian).
23. Valiyev Sh.N., Kokodeeva N.E., Karpeev S.V., Kochetkov A.V. Main directions of improvement of technical regulations of the Customs Union «Safety of Highways». *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 3, pp. 56–60. (In Russian).

НАЦИОНАЛЬНАЯ ОТРАСЛЕВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ДОРОЖНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

ООО «Центр Стандартизации, Сертификации, Аккредитации (Аттестации) «МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА» (Москва) предлагает услуги в области аккредитации (регистрации), технического регулирования, нормирования и проверки соответствия объектов строительства и дорожного хозяйства и этапов их жизненного цикла.

Техническое регулирование основано на управлении риском с учетом минимально допустимого уровня риска, основанного на применении ГОСТ, нормального уровня риска, основанного на требованиях безопасности, изложенных в тексте технических регламентов, и минимально необходимых требований по безопасности, основанных на проверке соответствия по допустимому риску.

Научное руководство системы осуществляет член МО Российского общества инженеров строительства, член Президиума Российской академии транспорта, д-р техн. наук, профессор Андрей Викторович Кочетков. В число партнеров входят Российское общество инженеров строительства, МАДИ, СГТУ им. Ю.А. Гагарина, Российская академия транспорта, РОСДОРНИИ, зарубежные предприятия ЕС и ЕвразЭС. В структуру системы входят четыре системы добровольной сертификации, органы сертификации и испытательные лаборатории (центры) по различным направлениям строительства и дорожного хозяйства.

Осуществляются работы в рамках альтернативной системы технического регулирования в виде услуги экспертизы

и регистрации соответствия, установленной в Соглашении РФ с ВТО о технических барьерах в торговле, Договором Евразийского экономического союза и решением Комиссии Таможенного союза от 7.04.2011 г. Полученные документы позволяют осуществлять экономическую деятельность заказчиков и подрядчиков без правоприменения ФЗ «О национальной системе аккредитации».

Предлагаемые услуги

- Сертификация систем менеджмента качества и систем административного управления.
- Аккредитация (регистрация) органов сертификации и испытательных лабораторий и центров.
- Подготовка и выдача деклараций и свидетельств соответствия.
- Научно-техническое, лабораторное, сертификационное сопровождение.
- Судебно-техническая экспертиза.
- Разработка проектов ГОСТ, ПНСТ, СТО, паспортов систем менеджмента качества, разделительных перечней испытательного и измерительного оборудования.
- НИОКР.
- Оценка и расчет риска по авторским методикам.
- Индивидуальное обучение специалистов по оценке риска.
- Повышение квалификации.

Оператором системы является член МО РОИС, академик транспорта, директор центра *Виктор Вячеславович Талалай*.

Тел.: (495) 585-4581; моб.: +7-926-999-0064 E-mail: talalay@bk.ru, ssv.lab@mail.ru

Т.Э. ХАЕВ¹, аспирант (haevt@mail.ru), Е.В. ТКАЧ¹, д-р техн. наук (ev_tkach@mail.ru);
Д.В. ОРЕШКИН², д-р техн. наук (dmitrii_oreshkin@mail.ru)

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, Москва, Ярославское ш., 26)

² Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН) (111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4)

Облегченный упрочненный гипсовый камень для реставрации памятников архитектуры

Предложен путь дальнейшего упрочнения модифицированного облегченного гипсового камня белого цвета для реставрации лепнины в архитектурных памятниках за счет применения метакаолина, суперпластификатора и гидрофобизатора. Изучена структура такого камня. Доказано, что введение в гипсовую смесь метакаолина и гидрофобно-пластифицирующей добавки уплотняет гипсовую матрицу за счет изменений элементного состава в гипсовой системе с полыми стеклянными микросферами, увеличения межплоскостных расстояний и размеров кристаллов гипса. По мнению авторов, такие изменения увеличивают площадь поперечного сечения и несущую способность кристаллов гипса. Установлено, что разработанный материал обладает технической эффективностью по показателям: средней плотности, удельной прочности, прочности сцепления с основанием, водостойкости и сорбционной влажности.

Ключевые слова: облегченный упрочненный гипсовый камень, структура и свойства камня, полые стеклянные микросферы, межплоскостные расстояния и размеры кристаллов гипса.

Для цитирования: Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Облегченный упрочненный гипсовый камень для реставрации памятников архитектуры // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 68–72.

T.EH. HAEV, Engineer (haevt@mail.ru), E.V. TKACH, Doctor of Sciences (Engineering) (ev_tkach@mail.ru),
D.V. ORESHKIN, Doctor of Sciences (Engineering) (dmitrii_oreshkin@mail.ru)

¹ Moscow state university of civil engineering (National Research University) (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

² Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences (4, Kryukovskiy Tupik, Moscow, 111020, Russian Federation)

Lightened Strengthened Gypsum Stone for Restoration of Architectural Monuments

A way for further strengthening of modified lightened gypsum stone of white color for restoration of stucco in architectural monuments due to the use of metakaolin, superplasticizer, and hydrophobizator is proposed. The structure of this stone has been studied. It is proved that the introduction of metakaolin and a hydrophobic-plasticizing additive in the gypsum mix compacts the gypsum matrix due to the change in element composition of the gypsum system with hollow glass micro-spheres, the increase in inter-planar distances and sizes of gypsum crystals. The authors consider that such changes increase the cross-sectional square and bearing capacity of gypsum crystals. It is established that the developed material has technical efficiency in terms of average density, specific strength, cohesion strength to the base, water resistance, and sorption humidity.

Keywords: lightened strengthened gypsum stone, structure and properties of stone, hollow glass micro-spheres, inter-planar distances and sizes of gypsum crystals.

For citation: Haev T.EH., Tkach E.V., Oreshkin D.V. Lightened strengthened gypsum stone for restoration of architectural monuments. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 68–72. (In Russian).

Развитие туризма, спорта, различных общественных мероприятий мирового уровня требует повышения привлекательности памятников архитектуры, в первую очередь восстановления дворцовых ансамблей и усадеб. Традиционно для украшения таких зданий использовали большое количество гипсовой лепнины, которая со временем в основном утрачена или существенно повреждена. Сложности реставрации гипсовой лепнины усугубляются ослаблением деревянных несущих конструкций старинных зданий. Следовательно, требуется существенное снижение средней плотности реставрационного материала без ухудшения других свойств. Добиться снижения средней плотности гипсовых материалов для производства работ по исторической лепнине можно, например, за счет использования полых стеклянных микросфер (ПСМС) [1, 2].

Доказано [1], что ПСМС снижают среднюю плотность чистого гипсового камня более чем в два раза, а использование суперпластификатора (СП) Peramin SMF-10 и гидрофобизатора (ГФ) Vinnapas 8031 Н оказывает существенное влияние на формирование кристаллов гипсовой матрицы и их размеры. Это повышает прочность облегченного гипсового камня с ПСМС. Разработанный модифицированный облегченный гипсовый материал с ПСМС [1] имеет белый цвет и соответствует требованиям к реставрации памятников архитектуры. Однако для улучшения эксплуатацион-

ных свойств и долговечности лепнины требуется повышение водостойкости и прочности облегченного гипсового камня с ПСМС. Это особенно важно для реставрации летних дворцовых ансамблей, не имеющих отопительных систем. Для этих целей предлагается в разработанную [1] модифицированную гипсовую смесь ввести высокоактивный метакаолин – ВМК-45 С, имеющий белый цвет. Было установлено, что эквивалентная замена 10% гипса на метакаолин значительно повышает прочность при сжатии и изгибе. Применение метакаолина известно в мировой науке [3–12].

Метакаолин марки ВМК-45 С (далее – ВМК) поставляется ООО «Синерго» из г. Магнитогорска. Количество

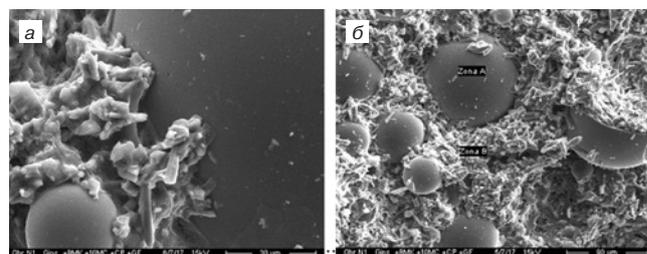


Рис. 1. Микроструктура упрочненного гипсового камня с 10% ПСМС, ВМК, СП и ГФ: а – общий вид; б – Зона А – ПСМС и Зона В – кристаллы гипсовой матрицы

Таблица 1

Элементный состав исходных ПСМС и микросфер в модифицированном и упрочненном гипсовом камне с 10% ПСМС

Элемент	Исходные ПСМС	ПСМС в гипсовом камне с 10% ПСМС +		
		без добавок	СП, ГФ	ВМК, СП, ГФ
		Количество, мас. %		
Na	7,56–7,58	6,9–7,12	6,1–6,6	6,2–6,5
Si	41,8–41,98	43,01–43,54	42,5–44,43	43,2–43,9
S	1,14–1,17	–	–	–
Ca	–	–	0,71–0,77	–
B	1,1–1,8	1,06–1,6	1,05–1,61	1,03–1,24
O ₂	48,3–48,48	49,8–49,93	50,1–50,49	50,1–51,5

оксидов кремния и алюминия составило: SiO₂ – 55,72%; Al₂O₃, – 44,28%. Химическая формула метакаолина имеет вид: Al₂O₃·1,26SiO₂. Размеры частиц метакаолина от 0,1 до 16 мкм. Основная масса частиц имеет размеры 1–3 мкм, что объясняет высокую удельную поверхность частиц метакаолина – 16215 см²/г. Такая удельная поверхность, химический состав и аморфное строение частиц определяют его высокую пуццоланическую активность, равную 1050 мг Ca(OH)₂/г.

Был проведен микроструктурный анализ упрочненного гипсового камня с 10% ПСМС (рис. 1, а и б).

Упрочненный гипсовый камень с 10% ПСМС, ВМК, СП и ГФ отличается высокой плотностью упаковки и равномерностью распределения микросфер в объеме гипсового камня, что говорит об однородности его структуры, сформированной перекрещивающимися в разных плоскостях кристаллами гипса.

Было проведено сравнение элементных составов исходных ПСМС и ПСМС в модифицированном гипсовом камне, а также в упрочненном гипсовом камне (табл. 1).

Данные табл. 1 показывают, что в упрочненном гипсовом камне с 10% ПСМС, ВМК, СП и ГФ в составе ПСМС на 1% уменьшилось количество натрия с одновременным увеличением содержания кремния на 1,5–2% по сравнению с исходным составом микросфер. Увеличение содержания кремния связано с возможным переходом его ионов из метакаолина и/или Vinnapas 8031 Н.

В табл. 2 приведено сравнение элементных составов гипсовой матрицы в чистом, модифицированном и упрочненном гипсовом камне с 10% ПСМС.

Данные табл. 2 показывают, что в гипсовой матрице упрочненного камня с 10% ПСМС количество кальция снижается на 2–3% по сравнению с чистым гипсовым камнем. Количество серы осталось примерно на том же уровне, а кремния возросло в 23–38 раз и достигло 3,8% за счет возможного перехода его ионов из метакаолина и/или гидрофобизатора Vinnapas 8031 Н, где также обнаружен метакаолин. В гипсовой матрице имеется до

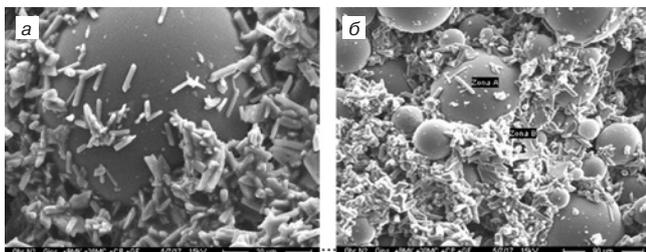


Рис. 2. Микроструктура упрочненного гипсового камня с 30% ПСМС, ВМК, СП и ГФ: а – общий вид; б – Zona А – поляя стеклянная микросфера и Zona В – кристаллы гипсового камня

Таблица 2

Элементный состав гипсовой матрицы в чистом, модифицированном и упрочненном гипсовом камне с 10% ПСМС

Элемент	Гипсовый камень		Гипсовый камень с 10% ПСМС +		
	чистый	с СП, ГФ	без добавок	СП, ГФ	ВМК, СП, ГФ
	Количество, мас. %				
Na	–	–	–	–	2,7–2,9
Mg	–	–	–	–	–
Al	–	–	–	–	–
Si	0,1–0,16	0,22–0,26	0,61–0,66	1,64–1,71	3,7–3,8
S	20,1–21,55	22,1–22,55	22,1–22,5	20,34–21,49	20,2–21,5
Ca	31,4–31,82	33,6–33,69	36,2–36,3	29,2–30,93	28,5–29,8
Cl	–	0,77–0,97	–	0,45–0,61	0,38–0,51
O ₂	46,2–46,46	43,2–43,6	41,2–41,4	44,2–45,9	44,8–44,98

2,8% натрия. Ионы натрия перешли в гипсовые кристаллы, возможно, из стекла стенок микросфер [2] и из состава СП Peramin SMF-10, где содержится сульфированный натрий. В составе гипсовой матрицы обнаружено до 0,5% хлора, который имеется в составе винилхлорида полимерного порошка Vinnapas 8031 Н.

Для дальнейшего снижения средней плотности гипсового камня количество ПСМС было увеличено до 30%, проведен микроструктурный анализ упрочненного гипсового камня с 30% ПСМС (рис. 2).

Структура упрочненного гипсового камня с 30% ПСМС, ВМК, СП и ГФ отличается высокой однородностью, равномерностью распределения ПСМС в объеме гипсового камня. Однородность структуры была проверена равенством средней плотности в четырех частях по высоте образца. У упрочненного гипсового камня с 30% ПСМС, ВМК, СП и ГФ формируется структура из перекрещивающихся в разных плоскостях кристаллов гипса, но более пористая, чем у гипсового камня с 10% ПСМС, ВМК, СП и ГФ.

В табл. 3 приведено сравнение элементных составов исходных ПСМС, микросфер в модифицированном и упрочненном гипсовом камне с 30% ПСМС.

При анализе результатов табл. 3 установлено, что после введения в гипсовую систему ПСМС количество натрия в стенке микросфер уменьшилось в камне без добавок – в 2,2 раза, а в камне с добавками – от 2,7 до 3,1 раза по сравнению с содержанием элемента в исходной микросфере. Количество кремния увеличилось на 3–4%, а ионы серы перешли в гипсовую матрицу.

Таблица 3

Элементный состав исходных ПСМС и микросфер в модифицированном и упрочненном гипсовом камне с 30% ПСМС

Элемент	Исходные ПСМС	ПСМС в гипсовом камне с 30% ПСМС +		
		без добавок	СП, ГФ	ВМК, СП, ГФ
		Количество, мас. %		
Na	7,56–7,58	3,3–3,34	2,42–2,54	2,7–2,76
Si	41,8–41,98	44,51–44,53	44,51–44,53	45,3–45,6
S	1,14–1,17	–	–	–
Ca	–	–	0,27–0,28	–
B	1,1–1,8	1,05–1,58	1,04–1,51	1,03–1,12
O ₂	48,3–48,48	51,84–51,91	51,84–51,91	51,8–51,9

Таблица 4

Элементный анализ гипсовой матрицы в чистом, модифицированном и упрочненном гипсовом камне с 30% ПСМС

Элемент	Гипсовый камень		Гипсовый камень с 30% ПСМС +		
	чистый	с СП+ГФ	без добавок	СП, ГФ	ВМК, СП, ГФ
Количество, мас. %					
Na	–	–	0,8–0,84	0,85–0,87	2,84–2,88
Al	–	–	–	–	1,4–1,45
Si	0,1–0,16	0,22–0,26	0,92–0,94	0,94–0,96	4,52–4,61
S	20,1–21,55	22,1–22,55	23,3–23,7	24,3–24,4	18,5–19,92
Ca	31,4–31,82	33,6–33,69	35,5–35,9	32,5–32,65	27,3–28,5
Cl	–	0,77–0,97	–	0,2–0,32	0,23–0,24
O ₂	46,2–46,46	43,2–43,6	40,1–40,7	41,54–41,72	44,9–45,1

В табл. 4 приведено сравнение элементных составов гипсовой матрицы в чистом, модифицированном и упрочненном гипсовом камне с 30% ПСМС.

Данные табл. 4 демонстрируют ожидаемые изменения химического состава. В гипсовой матрице упрочненного гипсового камня с 30% ПСМС количество кальция снижается на 3–4% по сравнению с чистым гипсовым камнем. Количество серы уменьшилось на 1,5–2%. Содержание кремния увеличилось в 28–46 раз и достигло 4,61% за счет возможного перехода его ионов из метакаолина и/или ГФ Vinnapas 8031 Н. В гипсовой матрице обнаружено до 2,88% натрия, которые могли перейти из стекла стенок ПСМС [2], а также из СП Peramin SMF-10. В составе гипсовой матрицы обнаружено до 0,24% хлора, содержащегося в составе Vinnapas 8031 Н. Алюминий в количестве до 1,45 % попадает в гипсовый камень, видимо, из метакаолина и/или Vinnapas 8031 Н.

Расположение кремния, алюминия и способ их проникновения в кристаллы гипса в системе с ПСМС пока не выяснены. Однако существенное увеличение их содержания в кристаллах должно внести изменения в строение кристаллов гипса. В табл. 5 приведены минимальные (Min) и максимальные (Max) размеры сечения кристаллов гипса в облегченном гипсовом камне с 10 и 30% ПСМС. Кристаллы представляют собой формы, близкие к прямоугольным призмам.

Данные табл. 5 показывают, что при введении в состав чистого гипсового камня СП и ГФ размеры прямоугольных кристаллов-призм уменьшаются, в основном по толщине. После введения в гипсовую смесь 10% ПСМС установлены следующие закономерности:

- по сравнению с чистым гипсовым камнем минимальная высота кристаллов у всех составов уменьшилась;
- минимальная толщина кристаллов у составов без добавок и с СП+ГФ также снизилась, а с метакаолином увеличилась более чем в 2,5 раза;
- максимальные размеры кристаллов у камня с 10% ПСМС с добавками СП+ГФ и метакаолина +СП+ГФ более чем в два раза крупнее, чем у чистого гипсового камня;
- максимальная высота кристаллов достигает 6,12–7,08 мкм, а максимальная толщина – 4,9–5,4 мкм;

– увеличение площади поперечного сечения кристаллов обеспечивает значительное повышение прочности модифицированного и особенно упрочненного гипсового камня с 10% ПСМС по сравнению с камнем без добавок.

При введении 30% ПСМС (табл. 5):

- по сравнению с чистым гипсовым камнем минимальная высота кристаллов у всех составов увеличилась до 2,25–4,4 мкм;
- минимальная толщина кристаллов у составов с 30% ПСМС без добавок ($b = 0,3$ мкм) объясняет низкую прочность такого камня;
- максимальная высота кристаллов у всех составов с добавками больше в 1,3–2 и более раз;
- максимальная высота кристаллов у камня с 30% ПСМС с добавками СП+ГФ, а также метакаолина +СП+ГФ составляет 7,08–8,3 мкм;
- максимальная толщина кристаллов у камня с 30% ПСМС+ СП+ГФ, а также метакаолина +СП+ГФ имеет размеры от 2,8–3,27 мкм;

– увеличение максимальной толщины кристаллов в 3–4 раза, а также их максимальной высоты в 1,5–2 раза обеспечивает значительное повышение площади поперечного сечения кристаллов и прочности модифицированного и особенно упрочненного гипсового камня с 30% ПСМС по сравнению с гипсовым камнем без добавок.

Таким образом, для облегченного гипсового камня с ПСМС (10 и 30%) введение в исходную смесь органоминеральных добавок в виде СП+ГФ (Peramin SMF-10 и Vinnapas 8031 Н) или метакаолина +СП+ГФ позволяет значительно повысить прочность модифицированного и упрочненного гипсового камня за счет увеличения площади поперечного сечения кристаллов двуводного гипса.

Были проанализированы рентгенограммы упрочненного гипсового камня с 10 и 30% ПСМС и органоминеральной добавкой ВМК, СП+ГФ и получены данные по межплоскостным расстояниям (табл. 6) кристаллов гипса.

Определено, что для гипсового камня с 10% ПСМС без добавок при всех углах исследования межплоскостные расстояния в кристаллах гипса уменьшаются; для камня с 10% ПСМС, СП и ГФ при всех углах исследования межплоскостные расстояния в кристаллах гипса увеличиваются; для упрочненного камня с 10% ПСМС, ВМК, СП и ГФ при всех углах межплоскостные расстояния в кристаллах гипса тоже увеличиваются, но несколько меньше, чем у модифицированного камня. Эти изменения связаны с изменениями элементного состава микросфер и гипсовой матрицы (табл. 1–4). ПСМС влияют на структуру облегченного гипсового камня и являются активным компонентом органоминеральной добавки.

У камня с 30% ПСМС установлено уменьшение межплоскостных расстояний в кристаллах гипса, а также их увеличение у модифицированного и особенно у упрочненного с 30% ПСМС, ВМК, СП и ГФ гипсового камня. Эти изменения произошли за счет химической и поверхностной активности микросфер и изменений элементного состава ПСМС и гипсовой матрицы, в том числе и за счет СП и ГФ.

Таким образом, доказано влияние полых стеклянных микросфер и органоминеральной добавки, состоя-

Размеры кристаллов гипса и гипса в камне с 10 и 30% ПСМС

Таблица 5

Размеры*, мкм	Гипсовый камень +		Гипсовый камень с 10% ПСМС +			Гипсовый камень с 30% ПСМС +		
	чистый	СП, ГФ	–	СП, ГФ	ВМК, СП, ГФ	–	СП, ГФ	ВМК, СП, ГФ
Min (h×b)	1,8×1,08	1,26×1,08	2,25×0,3	4,4×1,7	2,725×1,09	0,9×0,72	0,9×0,72	1,63×2,72
Max (h×b)	3,6×2,16	3×1,9	4,8×0,8	8,3×2,8	7,08×3,27	5,4×1,8	6,12×5,4	7,08×4,9

*h×b – (высота) × (толщина).

Межплоскостные расстояния гипсового камня и камня с 10 и 30% ПСМС

Таблица 6

Угол	Межплоскостные расстояния $d = n \cdot 10^{-10}$ м, гипсового камня +						
	чистый гипс	10% ПСМС	10% ПСМС, СП и ГФ	10% ПСМС, ВМК, СП, ГФ	30% ПСМС	30% ПСМС, СП, ГФ	30% ПСМС, ВМК, СП, ГФ
11,6°	7,622	7,5989	7,642	7,6264	7,5989	7,642	7,6615
20,7°	4,287	4,2819	4,2957	4,2929	4,2819	4,2957	4,3016
29,2°	3,0686	3,0657	3,0729	3,0703	3,0657	3,0729	3,0751
31°	2,875	2,8754	2,8788	2,8775	2,8754	2,8788	2,8814
33,5°	2,686	2,6841	2,6888	2,6876	2,6841	2,6888	2,6914

щей из ПСМС, метакаолина, суперпластификатора Peramin SMF-10 и гидрофобизатора Vinparas 8031 Н, на структуру (изменение в кристаллической решетке) облегченного упрочненного гипсового камня с ПСМС.

Впервые установлены межплоскостные расстояния в упрочненном гипсовом камне с ПСМС, ВМК, СП и ГФ.

Из физики твердого тела известно, что межплоскостное расстояние d определяется между параллельными элементарными структурными ячейками. При анализе данных табл. 6 установлено, что у облегченного упрочненного гипсового камня с 30% ПСМС определены большие межплоскостные расстояния в кристаллах гипса по сравнению с чистым гипсовым камнем. Рост составил более $0,06 \cdot 10^{-10}$ м при угле исследования $11,6^\circ$ и $\approx 0,02 \cdot 10^{-10}$ м при угле исследования $20,7^\circ$. Имеются также некоторые изменения фиксации пиков и соответствующего угла исследований (или отражения рентгеновских лучей) для камня с 30% ПСМС, СП и ГФ.

Были определены свойства гипсовой смеси с ВМК, СП и ГФ. Водопотребность равна 0,37 (В/Г=0,37) при распыле лепешки по вискозиметру Суттарда – 175 мм; рН=7,7. Сроки схватывания смеси: начало схватывания – 27 мин; конец схватывания – 30,5 мин.

В оптимизированный состав модифицированной гипсовой смеси был введен метакаолин в количестве, эквивалентном 10% гипса. При этом суммарное значение было равно начальному количеству гипса для каждого состава. Водогипсовое отношение – В/Г бралось от этой суммы. Как уже отмечалось, расход гидрофобизатора Vinparas 8031 Н составил 4%, а суперпластификатора Peramin SMF-10 – 0,75%. Расходы ПСМС были 10 и 30% от массы указанной суммы гипса и метакаолина, как и для СП и ГФ.

Диапазон расхода ПСМС (0; 10; 30%) принят с учетом следующих соображений. Во-первых, по условиям реставрации для заделки трещин, сколов и изготовления фрагментов в исторической лепнине требуется облегченный гипсовый материал с разной средней плотностью, но не ниже 500 кг/м^3 и достаточной прочностью при сжатии, изгибе и сцеплении со старым основанием.

Во-вторых, оптимальный и универсальный расход микросфер при различной несущей способности деревянных конструкций получить невозможно. В-третьих, во все времена на деревянные конструкции набивалась дранка, затем наносилась штукатурка, а после на ее поверхность – различная лепнина. В-четвертых, при средней плотности ниже 500 кг/м^3 , т. е. при расходе микросфер более 30% резко падают все прочностные показатели.

После 2 ч твердения были определены основные свойства упрочненного гипсового камня с 10% ПСМС и проведено сравнение результатов с чистым и модифицированным гипсовым камнем с 10% ПСМС (табл. 7).

Данные табл. 7 показывают, что у упрочненных облегченных гипсовых смеси и камня с 10% ПСМС В/Г увеличилось на 6%, влажность уменьшилась на 15 мас. %. Влажность снижается за счет фактического уменьшения отношения количества воды к сумме гипса и метакаолина: В/(Г+ВМК) до 0,48. При этом средняя плотность снизилась на 14%; за счет существенного уплотнения структуры гипсовой матрицы между ПСМС увеличилась прочность при сжатии в два раза, а при изгибе – на 27%. Марка по прочности стала выше на три ступени: с Г5 до Г10.

Для более существенного снижения средней плотности у упрочненного гипсового камня количество ПСМС было увеличено до 30%.

У модифицированных гипсовых смеси и камня с 30% ПСМС, СП и ГФ были получены свойства [1]: начало схватывания – 13 мин; конец схватывания – 16 мин; марка по прочности Г4.

В данной статье были определены свойства облегченной упрочненной гипсовой смеси с 30% ПСМС, ВМК, СП и ГФ: В/Г=0,87 и рН=7,5 при распыле лепешки по вискозиметру Суттарда – 180 мм. Сроки схватывания смеси: начало схватывания – 14,5 мин; конец схватывания – 17,5 мин.

Были определены свойства упрочненного облегченного гипсового камня с 30% ПСМС. В табл. 8 проведено сравнение результатов бездобавочного, модифицированного и упрочненного облегченного гипсового камня.

В табл. 9 представлены эксплуатационные свойства облегченного упрочненного гипсового камня с 10 и 30% ПСМС+ВМК+СП+ГФ.

По сравнению с чистым гипсовым камнем облегченный упрочненный гипсовый камень с ПСМС обладает технической эффективностью по средней плотности; удельной прочности; прочности сцепления; коэффициенту размягчения; сорбционной влажности.

Под действием значительных поверхностных сил ПСМС, частиц метакаолина, а также влияния поверхностно-активных веществ (СП и ГФ) при формировании кристаллов гипса в присутствии большого количества воды происходит своеобразное деформирова-

Свойства гипсового камня с 10% ПСМС

Средняя плотность гипсового камня, кг/м^3		Прочность, МПа		Влажность, %	
влажного	сухого	при изгибе	при сжатии	по массе	по объему
Бездобавочный гипсовый камень с 10% ПСМС, В/Г=0,6					
1301	867	1,77	3,12	57,1	49,6
Модифицированный камень с 10% ПСМС, СП и ГФ, В/Г=0,5					
1350	1102	2,78	5,17	46,1	52
Упрочненный камень с 10% ПСМС, ВМК, СП и ГФ, В/Г=0,53					
1270	805	3,53	10,32	40,1	32,3

Таблица 7

Таблица 8

Свойства гипсового камня с 30 % ПСМС

Средняя плотность гипсового камня, кг/м ³		Прочность, МПа		Влажность, %	
влажного	сухого	при изгибе	при сжатии	по массе	по объему
Бездобавочный гипсовый камень с 30% ПСМС; В/Г=1					
0,963	0,544	0,76	1,3	80,3	43,4
Модифицированный гипсовый камень с 30% ПСМС, СП и ГФ; В/Г=0,84					
0,911	0,585	1,83	4,11	58,2	34,1
Упрочненный гипсовый камень с 30% ПСМС, ВМК, СП и ГФ; В/Г=0,87					
0,87	0,502	2,85	5,33	50,1	25,1

Таблица 9

Эксплуатационные свойства облегченного упрочненного гипсового камня

Показатели	Гипс	10% ПСМС	30% ПСМС
Средняя плотность высушенного камня, кг/м ³	1,465	805	502
Удельная прочность при изгибе, МПа	4,41	4,41	5,7
Удельная прочность при сжатии, МПа	12,7	12,9	10,66
Прочность сцепления с основанием, МПа	1,8	1,85	0,9
Коэффициент размягчения	0,5	0,7	0,65
Сорбционная влажность, %	4,9	3,1	4,2

ние кристаллов гипса за счет включения в их структуру ионов кремния и алюминия. Этим, видимо, можно объяснить изменение межплоскостных расстояний и поперечного сечения кристаллов гипса в облегченном камне с ПСМС, ВМК и СП, ГФ.

Таким образом, доказано, что ПСМС, суперпластификатор Peramin SMF-10 и гидрофобизатор Vinparas 8031 Н формируют плотную структуру из перекрещивающихся кристаллов гипса. Это увеличивает прочность при сжатии от 1,65 до 3 раз по сравнению с бездобавочными составами при расходе ПСМС 10 и 30% соответственно. У облегченного упрочненного гипсового камня с ПСМС, метакаолином и гидрофобно-пластифицирующей добавкой происходит существенное изменение элементного состава кристаллов гипса и стенок ПСМС, что приводит к увеличению размеров кристаллов и межплоскостных расстояний в кристаллах гипса. Установлено, что все эти изменения уплотняют и упрочняют структуру гипсового камня с ПСМС и получены путем введения в систему метакаолина и указанной добавки.

При этом прочность при сжатии увеличивается с 1,3 до 5,33 МПа при средней плотности 502 кг/м³ и с 3,12 до 10,32 МПа при средней плотности 805 кг/м³ у гипсовых систем с расходом микросфер 30 и 10% соответственно по сравнению с составами без добавок. Происходит увеличение поперечного сечения прямоугольных призм кристаллов гипса. Это приводит к повышению несущей способности кристаллов гипса в виде балочек, у которых длина значительно больше ребер сечения. В свою очередь, увеличивается прочность при изгибе и сжатии гипсовой матрицы и облегченного камня в целом. Камень обладает технической эффективностью по показателям: средней плотности; удельной прочности; прочности сцепления с историческим основанием; водостойкости; сорбционной влажности.

Полученные результаты не противоречат положениям строительного материаловедения для растворов и бетонов на минеральных вяжущих системах. Они говорят о том, что прочность таких систем увеличивается при уменьшении размеров зерен в структуре с заполнителями по форме, близкой к кубической.

Список литературы/ References

- Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Модифицированный облегченный гипсовый материал с полыми стеклянными микросферами для реставрационных работ // *Строительные материалы*. 2017. № 10. С. 45–50.
- Хаев Т.Э., Ткач Е.В., Орешкин Д.В. Modified lightweight gypsum material with hollow glass microspheres for restoration works. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 10, pp. 45–50. (In Russian).
- Орешкин Д.В. Облегченные и сверхлегкие цементные растворы для строительства // *Строительные материалы*. 2010. № 6. С. 34–37.
- Oreshkin D.V. Lightweight and ultralight cement solutions for construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 6, pp. 34–37. (In Russian).
- Sabir B. B., Wild S. and Bai J. Metakaolin calcined clay as pozzolan for concrete: a review *Journal of Cement and Concrete Composites*. 2001. No. 23, pp. 441–454.

- Ilich B.R., Mitrovich A.A., Milichch L.R. Thermal Treatment of Kaolin Clay to Obtain Metakaolin. *Chemistry & Industry*. 2010. No. 64 (4), pp. 351–356.
- Kakali G., Perraki T., Tsivilis S., Badogiannis E. Thermal treatment of kaolin: the effect of mineralogy on the pozzolanic activity. *Applied Clay Science*. 2001. No. 20, pp. 73–80.
- Shvarzman A., Kovler K., Grader G.S., Shter G.E. The effect of dehydroxylation/amorphization degree on pozzolanic activity of kaolinite. *Cement and Concrete Research*. 2003. No. 33, pp. 405–416.
- Kostuch J.A., Walters G.V., Jones T.R. High performance concrete incorporating metakaolin. A review, *Concrete* 2000. 2 (1993), pp. 1799–811.
- Arikan M., Sobolev K., Ertun T., Yeginobali A., Turker P. Properties of blended cements with thermally activated kaolin. *Construction and Building Materials*. 2009. No. 23, pp. 62–70.
- Rahier H., Wullaert B., Van Mele B. Influence of the degree of dehydroxylation of kaolinite on the properties of aluminosilicate glasses. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2000. No. 62, pp. 417–427.
- Badogiannis E., Kakali G., Tsivilis S. Metakaolin as supplementary cementitious material Optimization of kaolin to metakaolin conversion, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2005. No. 81, pp. 457–462.
- Нгуен Т.Т., Орешкин Д.В. Технические свойства автоклавного и неавтоклавного газобетона // *Вестник ИрГТУ*. 2014. № 8. С. 100–103.
- Nguen T.T., Oreshkin D.V. Technical properties autoclaved and non-autoclaved gas concrete. *Vestnik IrGTU*. 2014. No. 8, pp. 100–103. (In Russian).
- Нгуен Т.Т., Орешкин Д.В. Подбор и оптимизация состава неавтоклавного газобетона для условий Вьетнама // *Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер. Политематическая*. 2014. Вып. 2 (www.vestnik.vgasu.ru).
- Nguen T.T., Oreshkin D.V. Selection and optimization of composition for non-autoclaved gas concrete for conditions of Viet Nam. *Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaya*. 2014. Vol. 2. (www.vestnik.vgasu.ru). (In Russian).

А.М. ИБРАГИМОВ, д-р техн. наук (igasu_alex@mail.ru),
А.В. ЛИПЕНИНА, студентка (atuxin@mail.ru), Л.Ю. ГНЕДИНА, канд. техн. наук

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

Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Часть 2. Решение краевых задач теплопереноса

Представленная работа является продолжением цикла статей под общим названием «Теплоперенос в ограждающей конструкции доменной печи». В части 1 [1] рассмотрены типовые многослойные ограждающие конструкции доменной печи. Приведено описание слоев, входящих в состав этих конструкций. Основное внимание уделено футеровочному слою. Кратко описан процесс выплавки чугуна и температурные режимы в характерных слоях внутренней среды печи. На основе теории А.В. Лыкова проанализированы исходные уравнения, описывающие взаимосвязанный перенос теплоты и массы в твердом теле применительно к поставленной задаче адекватного описания процессов с целью дальнейшего рационального проектирования многослойной ограждающей конструкции доменной печи. Априори ограждение с математической точки зрения рассматривается как неограниченная пластина. В части 2 рассматриваются краевые задачи теплопереноса в отдельных слоях конструкции с различными граничными условиями, приводятся их решения, которые являются базовыми при разработке математической модели нестационарного процесса теплопереноса в многослойной ограждающей конструкции.

Ключевые слова: доменная печь, многослойные конструкции, футеровочный слой, тепло-, массоперенос, математическая модель.

Для цитирования: Ибрагимов А.М., Липенина А.В., Гнедина Л.Ю. Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Часть 2. Решение краевых задач теплопереноса // *Строительные материалы*. 2018. № 5. С. 73–76.

A.M. IBRAGIMOV, Doctor of Sciences (Engineering) (igasu_alex@mail.ru), A.V. LIPENINA, Student, (atuxin@mail.ru), L.Yu. GNEDINA, Candidate of Sciences (Engineering)
National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

Design of the Blast Furnace Wall Structure Made of Efficient Materials. Part 2. Solution of Boundary Problems of Heat Transfer

This work is a continuation of the cycle of articles under the general title "Heat transfer in enclosing structures of a blast furnace". Typical multilayered enclosing structures of the blast furnace are considered in the part 1 [1]. The description of layers which are a part of these designs is resulted. The main attention is paid to the lining layer. The process of iron smelting and operating temperatures in the characteristic layers of the internal environment of the blast furnace is briefly described. On the basis of the theory of A.V. Lykov, initial equations describing the interconnected heat transfer and mass in the solid body applying to the set task, an adequate description of the processes with the purpose of further rational design of the multilayered enclosing structure of the blast furnace, are analyzed. A priori, from the mathematical point of view the enclosing structure is considered as an unbounded plate. Boundary problems of the heat transfer in separate layers of the structure with different boundary conditions are considered in the part 2, their solutions, which are basic when developing the mathematical model of the non-stationary process of the heat transfer in the multilayered enclosing structure, are presented.

Keywords: blast furnace, multilayered structures, lining layer, heat-mass transfer, mathematical model.

For citation: Ibragimov A.M., Lipenina A.V., Gnedina L.Yu. Design of the blast furnace wall structure made of efficient materials. Part 2. Solution of boundary problems of heat transfer. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 5, pp. 73–76. (In Russian).

Физическая картина процесса теплопереноса может быть представлена следующим образом (рис. 1, а): многослойная (для простоты рассматривается трехслойная) стенка находится в стационарном положении, так что распределения температур имеют вид:

$$t_1(x, 0) = t_2(x, 0) = t_3(x, 0) = t_0,$$

где x – текущая координата; t – температура.

В момент времени $\tau=0$ с левой стороны стенки подается тепловой поток q , под влиянием которого первый слой начинает прогреваться (рис. 1, б). Изменение полей температуры характеризуется кривыми 1 и 2. При этом второй и третий слой останутся с температурой t_0 .

В момент времени τ_1^* (кривая 3) тепловая волна достигает границы первого и второго слоев, и в этом месте появляется градиент температуры:

$$\text{grad } t(\delta_1, \tau_1^*) = -\lambda_1 \frac{\partial t_1(\delta_1, \tau_1^*)}{\partial x},$$

где τ – время; λ – коэффициенты теплопроводности.

После этого момента поле температуры будет проникать глубже в стенку, как показывают кривые 4 и 5. Температура третьего слоя остается равной t_0 до момен-

та времени τ_2^* , когда тепловая волна дойдет до стыка второго и третьего слоев. И так далее.

В момент времени τ_3^* , когда тепловая волна достигнет внешней границы последнего слоя ограждения, в процессе теплопереноса оказываются задействованы все слои ограждения, и этот момент времени может быть принят достаточным для определения сопротивления теплопередаче (R) при нестационарном процессе. При достаточно большом значении времени процесса (теоретически при $\tau \rightarrow \infty$) в конструкции сформируется стационарное поле температуры (ломаная линия 7 рис. 1, в), значения которого используются для расчета R . Для рассматриваемой модельной системы это будет выражаться следующим соотношением:

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с}}}{q},$$

где α – коэффициенты теплообмена; δ – толщина i -го слоя ограждающей конструкции (стенки печи); $t_{\text{вн}}$ – температура внутренней среды печи; $t_{\text{с}}$ – температура среды, окружающей печь.

Предлагаемая методика позволяет методом решения обратной задачи непосредственно рассчитывать значение R из нестационарного температурного поля.

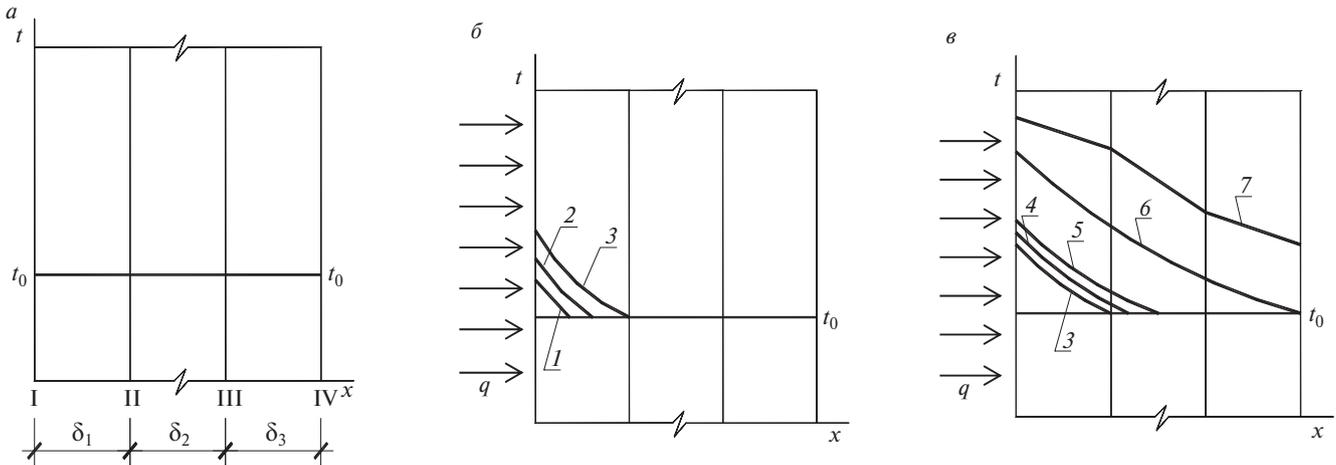


Рис. 1. Физическая картина процесса теплопереноса в трехслойной ограждающей конструкции: а – стационарное начальное распределение температуры в слоях конструкции; б – начало прогрева первого внутреннего слоя; в – проникновение поля температуры с течением времени в тело конструкции вплоть до стационарного распределения

Система уравнений (18, 20, 21, 23, 24) [1] является нелинейной и аналитически неразрешимой. Для решения задачи используем комбинированный метод решения краевых задач теплопереноса, который базируется на основе сочетания элементов аналитического и численного решений [2–11].

Суть метода состоит в том, что весь процесс теплопереноса делится на ряд малых временных интервалов. В пределах каждого интервала предполагаем, что температура постоянна на границе II и III и постоянна плотность теплового потока через соприкасающиеся поверхности, т. е. идеальный тепловой контакт.

Общая задача разбивается на три автономные, но взаимосвязанные между собой.

Задача 1. Теплоперенос в слое 1 с граничными условиями третьего рода, которые учитывают конвективный обмен на границе I, и первого рода, которые характеризуют постоянство температуры на границе II слоев 1 и 2.

Задача 2. Теплоперенос в слое 2 с граничными условиями второго рода, которые характеризуют постоянство плотности теплового потока через границу II, и первого рода, характеризующие постоянство температуры на границе III.

Задача 3. Теплоперенос в слое 3 с граничными условиями второго рода на границе III и граничными условиями третьего рода, которые характеризуют теплообмен между поверхностью слоя 3 на границе IV с окружающей средой по закону Ньютона.

Каждая из этих задач решается аналитически. Решение общей задачи нестационарной теплопроводности можно получить в результате сопряжения этих аналитических решений на каждом временном интервале. Это позволяет перейти от граничных условий четвертого рода к граничным условиям первого и второго рода на поверхностях раздела слоев 1 и 2, 2 и 3, что облегчает решение задачи.

Задача 1 (рис. 2)

Математически задача теплопроводности для слоя 1 может быть записана следующим образом:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad (0 \leq x \leq \delta_1). \quad (1)$$

Начальное условие:

$$t(x, 0) = t_0(x). \quad (2)$$

Граничные условия:

$$t(\delta, \tau) = t_{\delta}; \quad (3)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \alpha_B [t_c - t(0, \tau)]. \quad (4)$$

Граничное условие (3) показывает, что поверхность II раздела слоев 1 и 2 имеет постоянную температуру t_{δ} . Условие (4) характеризует конвективный теплообмен на внешней поверхности I.

Решение аналогичной задачи получено в [9].

Для удобства преобразований систему (1)–(4) можно привести к безразмерному виду:

$$\frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}^2}; \quad (5)$$

$$T(\bar{x}, 0) = T_0(\bar{x}); \quad (6)$$

$$T(1, Fo) = T_{\delta}; \quad (7)$$

$$\frac{\partial T(0, Fo)}{\partial \bar{x}} = Bi \cdot T(0, Fo). \quad (8)$$

Общее решение задачи в безразмерных переменных имеет вид [9]:

$$T(\bar{x}, Fo) = T_{\delta} \left(\frac{Bi \cdot \bar{x} + 1}{Bi + 1} \right) - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi \sin \mu_n (\bar{x} - 1)}{Bi + \cos^2 \mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo) \cdot \left[\int_0^1 T_0(\xi) \sin(\mu_n(1 - \xi)) d\xi - \frac{T_{\delta}}{\mu_n} \right], \quad (9)$$

где

$$T(\bar{x}, Fo) = \frac{t(x, \tau) - t_{\delta}}{t_{\delta}}; \quad (10)$$

$$\bar{x} = x/\delta - \text{безразмерная координата}; \quad (11)$$

$$Fo = a\tau/\delta^2 - \text{критерий Фурье}; \quad (12)$$

$$Bi = \alpha_B \delta / \lambda - \text{критерий Био}; \quad (13)$$

μ_n – корни характеристического уравнения

$$\mu_n = -Bi \operatorname{tg} \mu_n. \quad (14)$$

где ξ – безразмерная текущая координата.

Примечание. Индекс (1), указывающий на принадлежность выкладок к первому слою, для простоты записи опущен.

Задача 2 (рис. 3)

Условие задачи 2 согласно принятым ранее допущениям можно сформулировать следующим образом: теплоперенос в неограниченной пластине с комбинированными граничными условиями второго рода на поверхности II и первого рода на поверхности III и неравномерными начальными условиями.

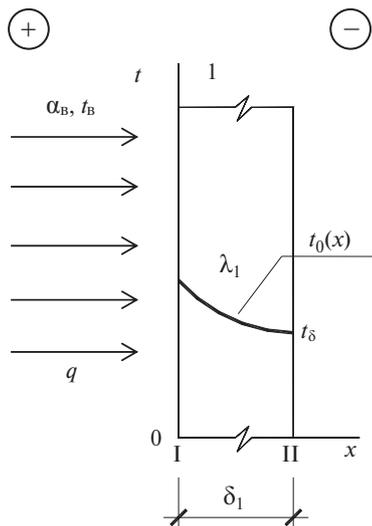


Рис. 2. Нагревание первого слоя ограждающей конструкции

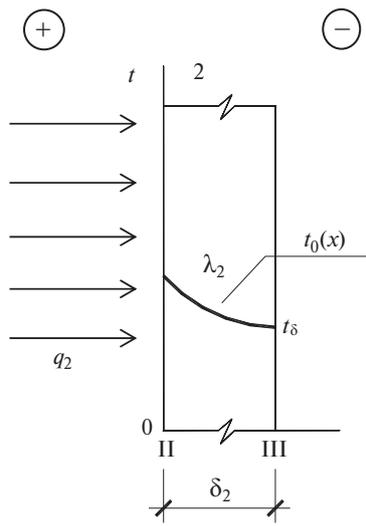


Рис. 3. Нагревание второго слоя ограждающей конструкции

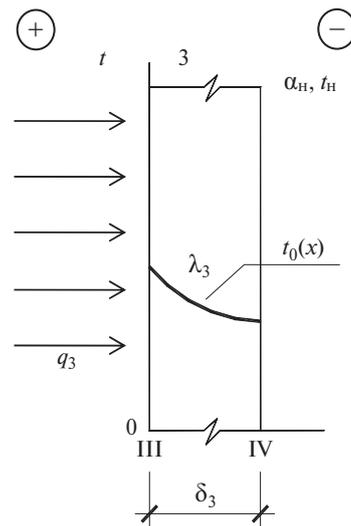


Рис. 4. Нагревание третьего слоя ограждающей конструкции

Начало координат поместим на стыке слоев, т. е. в сечении II.

Математически задача теплопроводности для слоя 2 может быть записана следующим образом:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad (0 \leq x \leq \delta_2). \quad (15)$$

Начальное условие:

$$t(x, 0) = t_0(x). \quad (16)$$

Граничные условия:

$$-\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = q_2; \quad (17)$$

$$t(\delta, \tau) = t_\delta. \quad (18)$$

Задачу (15)–(18) решаем в безразмерных переменных, для этого вводим обозначения:

$$T(\bar{x}, Fo) = \frac{t(x, \tau) - t_\delta}{t_\delta}; \quad (19)$$

$$\bar{x} = x/\delta; \quad Fo = a\tau/\delta^2. \quad (20)$$

Тогда из (15) получим:

$$\frac{\partial}{\partial \tau} \left(\frac{t(x, \tau) - t_\delta}{t_\delta} \right) = a \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{t(x, \tau) - t_\delta}{t_\delta} \right), \quad (21)$$

или с учетом (19) и (20):

$$\frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial Fo} = a \frac{\partial^2 T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}^2}. \quad (22)$$

Общее решение задачи получено в [6] и имеет вид:

$$T(\bar{x}, Fo) = Ki \left[(1 - \bar{x}) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8 \cos(\mu_n \bar{x})}{\pi^2 n^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) \right] + \sum_{n=1}^{\infty} 2 \cos(\mu_n \bar{x}) \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi. \quad (23)$$

Характеристическое уравнение $\cos \mu_n = 0$.

Задача 3 (рис. 4)

Условие задачи 3 согласно принятым ранее допущениям можно сформулировать следующим образом: теплоперенос в неограниченной пластине с комбинированными граничными условиями второго рода на поверхности III и первого рода на поверхности IV и неравномерными начальными условиями.

Начало координат поместим на стыке слоев, т. е. в сечении III. Математически задача теплопроводности для третьего слоя может быть записана следующим образом:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad (0 \leq x \leq \delta_3). \quad (24)$$

Начальное условие:

$$t(x, 0) = t_0(x). \quad (25)$$

Граничные условия:

$$-\lambda \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = q_3; \quad (26)$$

$$-\lambda \frac{\partial t(\delta, \tau)}{\partial x} = \alpha_H [t(\delta, \tau) - t_c]. \quad (27)$$

Задачу (24)–(27) решаем в безразмерных переменных. Уравнение (24) в безразмерных переменных примет вид:

$$\frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial Fo} = a \frac{\partial^2 T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}^2}. \quad (28)$$

Приведем к безразмерному виду условия (26) и (27), получим:

$$-\frac{\partial T(0, Fo)}{\partial \bar{x}} = Ki,$$

где $Ki = \frac{q_3 \cdot \delta_3}{\lambda_3 \cdot t_\delta}$ – критерий Кирпичева; (29)

$$-\frac{\partial T(\delta, Fo)}{\partial \bar{x}} = Bi \cdot T(\delta, Fo),$$

где $Bi = \alpha_H \delta / \lambda_3$ – критерий Био; (30)

Итак, необходимо решение задачи (28) с граничными условиями (29) и (30), а также начальным условием:

$$T(\bar{x}, 0) = T_0(\bar{x}) = \frac{t(x, \tau) - t_H}{t_H}. \quad (31)$$

Общее решение задачи получено в [11] и имеет вид:

$$T(\bar{x}, Fo) = -Ki \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Bi \cos(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Bi \cos(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi. \quad (32)$$

Характеристическое уравнение $\mu_n = Bi \operatorname{ctg} \mu_n$.

Определим величину температурного градиента, продифференцировав (9) по \bar{x} :

$$\frac{\partial T(\bar{x}, F_0)}{\partial \bar{x}} = T_\delta \left(\frac{Bi}{Bi+1} \right) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi \mu_n \cos[\mu_n(1-\bar{x})]}{Bi + \cos^2 \mu_n} \exp(-\mu_n^2 F_0) \cdot \left[\int_0^1 T_0(\xi) \sin(\mu_n(1-\xi)) d\xi - \frac{T_\delta}{\mu_n} \right]. \quad (33)$$

Определим величину температурного градиента, продифференцировав (23) по \bar{x} :

$$\frac{\partial T(\bar{x}, F_0)}{\partial \bar{x}} = -Ki + Ki \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8\mu_n \sin(\mu_n \bar{x})}{\pi^2 n^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} F_0\right) - \sum_{n=1}^{\infty} 2\mu_n \sin(\mu_n \bar{x}) \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} F_0\right) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi. \quad (34)$$

Определим величину температурного градиента, продифференцировав (32) по \bar{x} :

Список литературы

- Ибрагимов А.М., Липенина А.В. Проектирование конструкции стенки доменной печи из эффективных материалов. Часть 1. Постановка задачи и предпосылки расчета // *Строительные материалы*. 2018. № 3. С. 70–74.
- Федосов С.В. Аналитическое описание теплового переноса в процессе сушки дисперсных материалов при наличии термодиффузии и внутреннего испарения влаги // *Журнал прикладной химии*. 1986. Т. 59. № 3. С. 2033–2038.
- Федосов С.В., Кисельников В.Н. Теплообмен в сферической частице при конвективной сушке во взвешенном состоянии // *Известия вузов. Химия и химическая технология*. 1985. Т. 28. № 2. С. 14–15.
- Федосов С.В., Зайцев В.А., Шмелев А.Л. Расчет температурных полей в цилиндрическом реакторе с неравномерно распределенным источником теплоты. *Состояние и перспективы развития электротехнологии: Тезисы докладов всероссийской научно-технической конференции*. Иваново, 1987. 28 с.
- Федосов С.В., Кисельников В.Н., Шертаев Т.У. Применение методов теории теплопроводности для моделирования процессов конвективной сушки. *Алма-Ата: Гылым*, 1992. 168 с.
- Федосов С.В., Гнедина Л.Ю. Нестационарный теплообмен в многослойной ограждающей конструкции. *Проблемы строительной теплофизики систем обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях: Сб. докладов IV научно-практической конференции*. 27–29 апреля 1999. Москва. С. 343–348.
- Чизильский Э. Вентилируемые конструкции наружных стен // *Жилищное строительство*. 1996. № 10. С. 25–27.
- Шмелев А.Л., Федосов С.В., Зайцев В.А., Сокольский А.И., Кисельников В.Н. Моделирование нестационарного теплообмена в реакторе гидролиза цианосодержащих полимеров. *Ивановский химико-технологический институт – Черкасы*, 1988. 10 с. Деп. в НИИТЭХИМ. N1076-XII88.
- Шмелев А.Л. Непрерывный способ получения водорастворимых полимеров на основе полиакрилонитрила с высоким содержанием основного вещества. Дис... канд. техн. наук. Иваново, 1998.
- Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория переноса энергии и вещества. Минск: Изд. АН БССР, 1959. 330 с.
- Федосов С.В., Ибрагимов А.М., Гнедина Л.Ю., Гуцин А.В. Математическая модель нестационарного теплообмена в многослойной ограждающей конструкции. *Доклады XII российско-польского семинара «Теоретические основы строительства»*. Варшава, 2003. С. 253–261.

$$\frac{\partial T(\bar{x}, F_0)}{\partial \bar{x}} = +Ki \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Bi \mu_n \sin(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} \exp(-\mu_n^2 F_0) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2Bi \mu_n \sin(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} \exp(-\mu_n^2 F_0) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi. \quad (35)$$

Результаты.

Выражения (9, 23, 32–35) являются базовыми для расчета нестационарного процесса теплопереноса в многослойной конструкции.

В части 3 настоящей работы будет представлен алгоритм расчета нестационарного процесса теплопереноса через многослойную ограждающую конструкцию доменной печи, а в части 4 – конкретные примеры расчета и рекомендации по проектированию.

References

- Ibragimov A.M., Lipenina A.V. Design of the blast furnace wall structure made of efficient materials. Part 1. Statement of a problem and calculation prerequisites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 3, pp. 70–74. (In Russian).
- Fedosov S.V. Analytical description of heat and moisture transfer during drying of dispersed materials in the presence of thermal diffusion and internal evaporation of moisture. *Zhurnal prikladnoy khimii*. 1986. Vol. 59. No. 3, pp. 2033–2038. (In Russian).
- Fedosov S.V., Kisel'nikov V.N. Heat transfer in a spherical particle with convective drying in a suspended state. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*. 1985. Vol. 28. No. 2, pp. 14–15. (In Russian).
- Fedosov S.V., Zaytsev V.A., Shmelev A.L. Calculation of temperature fields in a cylindrical reactor with a nonuniformly distributed heat source. *State and prospects of development of electro technology. Abstracts of the All-Russian Scientific and Technical Conference*. Ivanovo. 1987. 28 p.
- Fedosov S.V., Kisel'nikov V.N., Shertayev T.U. Prime-nenie metodov teorii teploprovodnosti dlya modelirovaniya protsessov konvektivnoy sushki [Application of the methods of the theory of thermal conductivity for modeling the processes of convective drying]. *Alma-Ata: Gylym*. 1992. 168 p.
- Fedosov S.V., Gnedina L.Yu. Non-stationary heat transfer in a multilayered enclosing structure. *Problems of building thermophysics of microclimate and energy saving systems in buildings: Coll. reports of the IV scientific-practical conference*. 27–29 April 1999. Moscow. 343–348 p.
- Chizil'skiy E. Ventilated exterior wall constructions. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo*. 1996. No. 10, pp. 25–27. (In Russian).
- Shmelev A.L., Fedosov S.V., Zaytsev V.A., Sokol'skiy A.I., Kisel'nikov V.N. Modelirovanie nestatsionarnogo teploperenosa v reaktore gidroliza tsiansoderzhashchikh polimerov [Modeling of non-stationary heat transfer in the reactor of hydrolysis of cyanide-containing polymers]. *Ivanovo Chemical Technology Institute*. 1988. Dep. in the NIITEKhIM. N1076-XII88.
- Shmelev A.L. A continuous method for producing water-soluble polymers based on polyacrylonitrile with a high content of the basic substance. *Cand. Diss. (Engineering)*. Ivanovo. 1998. (In Russian).
- Lykov A.V., Mikhaylov Yu.A. Teoriya perenosa energii i veshchestva [Theory of energy and matter transfer]. *Minsk: AN BSSR Publishing*. 1959. 330 p.
- Fedosov S.V., Ibragimov A.M., Gnedina L.YU., Gushchin A.V. Mathematical model of non-stationary heat transfer in a multilayered enclosing structure. *Reports of the XII Russian-Polish seminar "Theoretical Foundations of Construction"*. Warsaw: 2003, pp. 253–261. (In Russian).

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АГЕНТСТВО «КВИНТЕТ»

приглашают принять участие

В 18-й международной конференции

ВАЛТИМІХ-2018

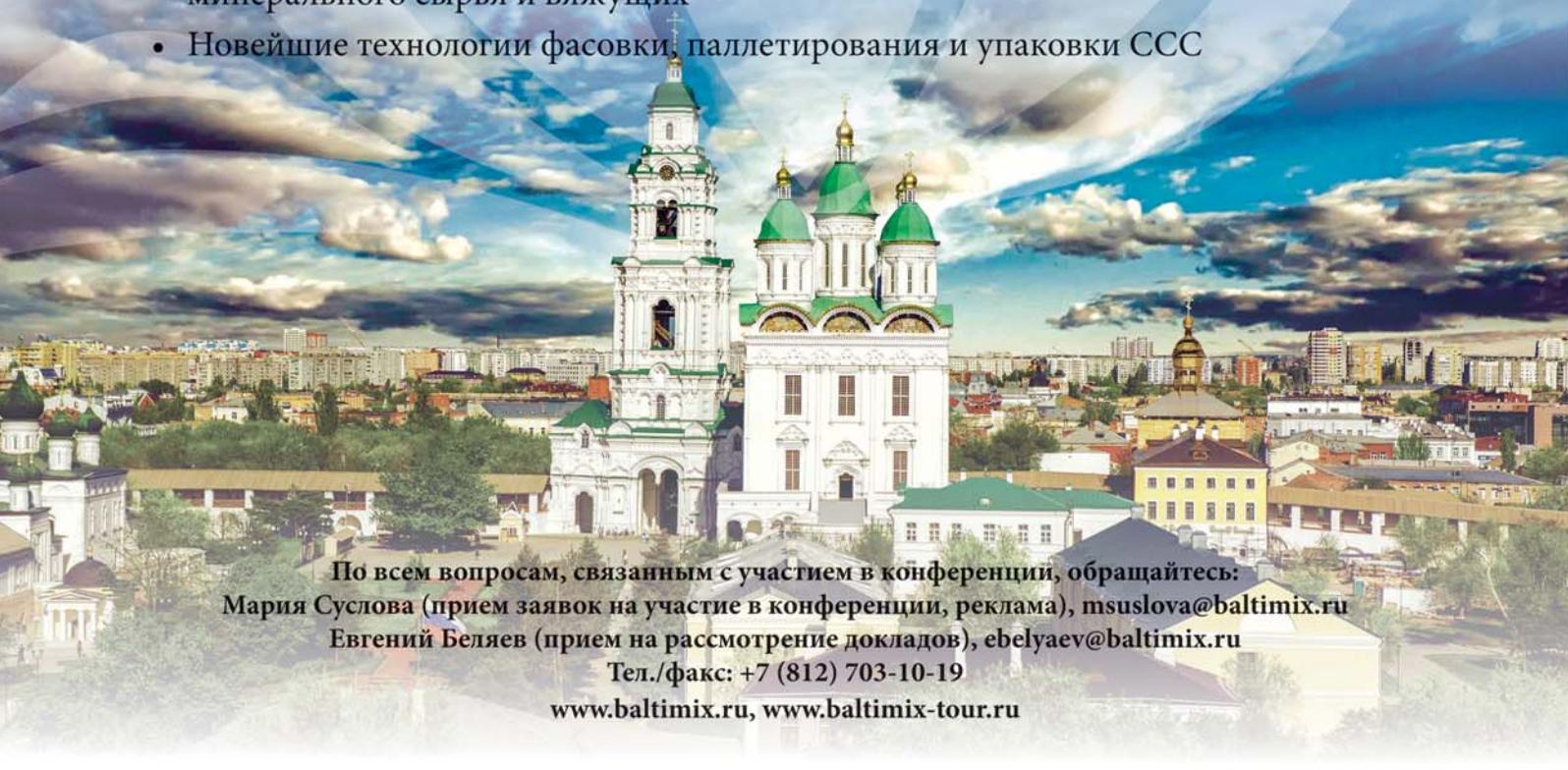
г. Астрахань, «Парк Инн от Рэдиссон Астрахань»

21 – 23 августа 2018 года



ДЕЛОВАЯ ПРОГРАММА:

- Российский рынок ССС: итоги 2017-го, первой половины 2018, прогнозы развития
- Техника для механизации работ с применением сухих строительных смесей
- Средства и методы удешевления рецептур ССС без потери качественных характеристик
- Сухие строительные смеси для ремонта и огнезащиты строительных конструкций
- Рынок гипсовых материалов России: состояние и перспективы
- Основные тенденции в производстве ССС в России и в мире
- Сухие строительные смеси специального назначения
- Строительный рынок РФ: текущее состояние, перспективы развития
- Нормативное обеспечение сухих строительных смесей, исходного минерального сырья и вяжущих
- Новейшие технологии фасовки, паллетирования и упаковки ССС



По всем вопросам, связанным с участием в конференции, обращайтесь:
Мария Суслова (прием заявок на участие в конференции, реклама), msuslova@baltimix.ru
Евгений Беляев (прием на рассмотрение докладов), ebelyaev@baltimix.ru

Тел./факс: +7 (812) 703-10-19

www.baltimix.ru, www.baltimix-tour.ru

Санкт-Петербург 10–12 октября

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ
МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКЦИИ
В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
FIBROMIX 2018**



ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ:

8–9 октября

Курсы повышения квалификации
для специалистов строительного комплекса
«СОВРЕМЕННЫЕ ЦЕМЕНТНЫЕ КОМПОЗИТЫ».
Аудиторные занятия с 10:00 до 18:00

10 октября

СЕКЦИЯ 1.
Композиционные материалы — основа
современного строительного материаловедения

11 октября

СЕКЦИЯ 2.
Математическое моделирование и развитие
методов расчета строительных конструкций
зданий и сооружений

12 октября

СЕКЦИЯ 3.
Строительные конструкции и технологии
с применением современных
композиционных материалов

13 октября

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ
ЭКСКУРСИОННАЯ ПРОГРАММА
для желающих:
«Жемчужное ожерелье Петербурга» —
экскурсия по восхитительным
паркам и архитектурным ансамблям,
опоясывающих Северную столицу



**Санкт-Петербург, 10–12 октября 2018 г.
СПБГАСУ (2-я Красноармейская ул., д. 4)**



**Подробная информация о конференции: www.baltimix.ru/fibromix
тел.: +7 (812) 703-10-19, email: msuslova@baltimix.ru, ebelyaev@baltimix.ru**