

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] №1



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

ЯНВАРЬ 2015 г. (721)



60 лет с отраслью



Международные научно-практические конференции

InterConPan

Инновационные технологии производства извести





**ЗАВОД
ТЕХПРИБОР**
Тульская обл., г. Щекино

ПРЕДЛАГАЕТ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МЕЛЬНИЦЫ

ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНОЙ ИЗВЕСТИ



ОСМ 2014

Диплом за лучший
мельничный комплекс

miningworld
Moscow

Диплом за лучшую
мельницу тонкого
помола*



Мельницы серии
ТРИБОКИНЕТИКА

ТРИБОКИНЕТИКА – 6000

- 2 950 000 р. с НДС**
- в полной комплектации
- 2 года гарантии

* Диплом за лучшую мельницу тонкого помола российского производства по версии выставки Miningworld Russia.

** Информационные материалы и цены, размещенные на данной листовке, не являются публичной офертой, определяемой положениями Статьи 437 Гражданского кодекса РФ.



Завод «ТЕХПРИБОР» РФ, Тульская область, г. Щекино, ул. Пирогова, д.43
Контактные телефоны: (48751) 4-87-27, 4-08-69, 4-57-78, 4-76-99
E-mail: manager@texribor.ru / www.texribor.ru

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

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№ 1

Основан в 1955 г.

(721) январь 2015 г.

Главный редактор:

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

Редакционный совет:

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

БАРИНОВА Л. С.,
канд. хим. наук, вице-президент
Российского союза строителей (Москва)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЛЕОНОВИЧ С. Н.,
д-р техн. наук, профессор (Беларусь)

ЛЕСОВИК В. С.,
д-р техн. наук, профессор,
член-корреспондент РААСН (Белгород)

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

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

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

ФЕДОСОВ С. В.,
д-р техн. наук, профессор,
академик РААСН (Иваново)

ФИШЕР Х.-Б.,
доктор-инженер (Германия)

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

ХОЗИН В. Г.,
д-р техн. наук, профессор (Казань)

ЧЕРНЫШОВ Е. М.,
д-р техн. наук, профессор,
академик РААСН (Воронеж)

ШЛЕГЕЛЬ И. Ф.,
канд. техн. наук (Омск)

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

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
журнал «Строительные материалы»®, 2015

Материалы для дорожного строительства

А.В. РУДЕНСКИЙ, С.А. ТАРАКАНОВ
Совершенствование технологии производства дорожных
асфальтобетонных смесей путем использования предварительно
приготовленных гранул концентрата асфальтового вяжущего 4

Э.В. КОТЛЯРСКИЙ, О.А. ВОЕЙКО, Н.С. ЛЕБЕДЕВ
Воздействие агрессивной среды на изменение поверхностной
прочности асфальтобетона 6

И.М. БАРАНОВ, Ю.М. ЕГОРОВ
Новые композиционные минералполимеры и термопластобетон
для применения в дорожном и специальном строительстве 9

В.В. ЕФРЕМЕНКОВ
Совершенствование систем дозирования битума в производстве
асфальтобетонных смесей 13

Пеностекло: производство и применение

А.А. КЕТОВ, А.В. ТОЛМАЧЕВ
Пеностекло – технологические реалии и рынок 17

А.Д. ОРЛОВ
Оптимизированная одностадийная технология гранулированного пеностекла
на основе низкотемпературного синтеза стеклофазы 24

Я.И. ВАЙСМАН, Ю.А. КЕТОВ
Массоперенос раствора силиката при сушке сырцовых гранул
в технологии гранулированного пеностекла 27

Л.В. САПАЧЕВА, С.Ю. ГОРЕГЛЯД
Пеностекло для экологичного строительства в России 30

Технологии и оборудование

Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ, А.В. ИЛЮХИН, А.М. КОЛБАСИН, В.И. МАРСОВ, ДИТЬ АН НИНЬ
Технологические возможности дозаторов с регулированием
по производительности 32

Новые виды оборудования самарского завода «Строммашина»
для производства извести 34

Д.Е. БАРАБАШ, Ю.Б. ПОТАПОВ, С.П. ЧЕРНУХИН, В.В. ВОЛКОВ
Прогностическая оценка работоспособности строительных
полимерных эластомеров СВЧ-резонансным методом 36

Результаты научных исследований

В.Г. ХОЗИН, Е.С. ЗЫКОВА, В.Х. ФАХРУТДИНОВА, А.Р. ГИЗДАТУЛЛИН
Влияние щелочной среды бетона на эпоксидные связующие
и полимеркомпозитную арматуру 41

А.Е. БУРДОНОВ, В.В. БАРАХТЕНКО, Е.В. ЗЕЛИНСКАЯ, Н.А. ТОЛМАЧЕВА
Теплоизоляционный материал на основе терморезактивных смол
и отходов теплоэнергетики 48

А.О. АДАМЦЕВИЧ, А.В. ЕРЕМИН, А.П. ПУСТОВГАР, С.А. ПАШКЕВИЧ
Исследование влияния внешних факторов на свойства портландцемента
в условиях длительного хранения 53

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

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

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

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

Monthly scientific-technical and industrial journal

STROITEL'NYE MATERIALY®

No. 1

Founded in 1955

(721) January 2015 r.

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

KRIVENKO P. V.,
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)

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)

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

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

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

Materials for road construction

A.V. RUDENSKY, S.A. TARAKANOV

**Improving the Technology of Road Asphalt Concrete Mixes Manufacturing
by Using Pre-Prepared Granules of Asphalt Binder Concentrate** 4

E.V. KOTLYARSKY, O.A. VOEYKO, N.S. LEBEDEV

**Impact of Aggressive Environment on Change in Surface Strength
of Asphalt Concrete** 6

I.M. BARANOV, Yu.M. EGOROV

**New Composite Mineral-Polymers and Thermoplast-Concrete for Using
in Road and Special Construction** 9

V.V. EFREMENKOV

**Improvement of Bitumen Dosing Systems for Manufacturing
Asphalt-Concrete Mixes** 13

Foam Glass: science and practice

A.A. KETOV, A.V. TOLMACHEV

Foamed Glass: Technological Realities and the Market 17

A.D. ORLOV

**Optimization of One-Stage Technology of Granulated Foam Glass
on the Basis of Low-Temperature Synthesis of Glass Phase** 24

Ya.I. VAISMAN, Yu.A. KETOV

**Mass Transfer of Silicate Solution during the Process of Raw Granules Drying
in Technology of Granulated Foamed Glass** 27

L.V. SAPACHEVA, S. YU. GOREGLYAD

Foam Glass for Eco-Friendly Construction in Russia 30

Technologies and equipment

Yu.E. VASILIEV, A.V. ILYUKHIN, A.M. KOLBASIN, V.I. MARSOV, DIN AN NIN

Technological Capabilities of Batcher with Capacity Regulation 32

New Types of Equipment for Producing Lime at Samara Plant «Strommashina» 34

D.E. BARABASH, Yu.B. POTAPOV, S.P. CHERNUKHIN, V.V. VOLKOV

**Predictive Appraisal of Working Capacity of Building Polymeric Elastomers
by SHF-Resonance Method** 36

Results of scientific research

V.G. KHOZIN, E.S. ZYKOVA, V.Kh. FAKHRUTDINOVA, A.R. GIZDATULLIN

**Influence of Alkaline Environment of Concrete on Epoxide Binders
and Polymer-Composite Reinforcement** 41

A.E. BURDONOV, V.V. BARAKHTENKO, E.V. ZELINSKAYA, N.A. TOLMACHEVA

**Heat Insulating Material on the Basis of Thermo-Reactive Resins and Waste
of Heat Power Industry** 48

A.O. ADAMTSEVICH, A.V. EREMIN, A.P. PUSTOVGAR, S.A. PASHKEVICH

**Research in Influence of External Factors on Properties of Portland-Cement
under Conditions of Long-Term Storage** 53

A.V. USHEROV-MARSHAK

Cement and Concrete Today. A View from Poland 58

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

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

Строительные материалы № 1

А.В. УШЕРОВ-МАРШАК Цемент и бетон сегодня. Взгляд из Польши	58
М.А. ГОНЧАРОВА, А.В. КОПЕЙКИН, В.В. КРОХОТИН Оптимизация методики определения минералогического состава конвертерных шлаков	60
Н.А. МИТИНА, В.А. ЛОТОВ, А.В. СУХУШИНА Жидкость затворения для магнезиального вяжущего	64
С.А. СЕНЬКОВ, Н.С. СЕМЕЙНЫХ, Г.И. ЯКОВЛЕВ, И.С. ПОЛЯНСКИХ Адгезионные свойства гипсового вяжущего в присутствии калийсиликатного цемента	69
В.А. ЛОТОВ, Ш.А. ХАБИБУЛИН Применение модифицированного жидкостекольного вяжущего в производстве строительных материалов	73

Stroitel'nye Materialy No. 1

M.A. GONCHAROVA, A.V. KOPEYKIN, V.V. KROHOTIN Optimization of Methods for Determining Mineralogical Composition of Converter Slags	60
N.A. MITINA, V.A. LOTOV, A.V. SUKHUSHINA Mixing Liquid for a Magnesia Binder	64
S.A. SENKOV, N.S. SEMEYNYKH, G.I. YAKOVLEV, I.S. POLYANSKIY Adhesion Properties of a Gypsum Binder in the Presence of Potassium-Silicate Cement	69
V.A. LOTOV, Sh.A. KHABIBULIN The Use of a Modified Liquid Glass Binder in Production of Building Materials	73

Уважаемые коллеги!
Приветствуем вас
в 2015 году!

Для журнала «Строительные материалы»® это 60-й год издания. Мы сердечно благодарим всех наших авторов, читателей, рекламодателей за то, что не смотря на смену социально-экономической формации, повторяющиеся с завидной регулярностью кризисы, неустойчивые курсы иностранных валют и технической политики в области строительства вы сохраняете верность журналу.

Надеемся, что как и в предыдущие годы, в 2015 году вы найдете на страницах журнала информацию, полезную для своих научных исследований, разработки и внедрения новых технологий, ведения бизнеса и просто для расширения профессионального кругозора.

Мы будем рады видеть вас на научно-практических конференциях, организуемых редакцией (КЕРАМТЭКС, май; InterConRap, июнь; Инновационные технологии производства извести, сентябрь; СИЛИКАТэкс, октябрь); на международных выставках, как в России, так и за рубежом; научных конференциях и семинарах. Или просто приходите в редакцию!

2015 год не будет простым. Как всегда, мы переживем его вместе.

Оставайтесь с нами.



А.В. РУДЕНСКИЙ, д-р техн. наук, профессор (ruda0704@yandex.ru), С.А. ТАРАКАНОВ, инженер
ОАО «НИИМосстрой» (119192, Москва, ул. Винницкая, 8)

Совершенствование технологии производства дорожных асфальтобетонных смесей путем использования предварительно приготовленных гранул концентрата асфальтового вяжущего

Рассмотрено перспективное направление в технологии производства дорожных асфальтобетонных смесей, основанное на предварительном приготовлении гранул концентрата асфальтового вяжущего с последующим смешиванием их в асфальтосмесительной установке с горячим щебнем и песком и введением в смеситель дополнительного количества битума и окончательным перемешиванием смеси. Указанная технология позволяет повысить однородность и качество асфальтобетонной смеси, прочность, водостойкость и эксплуатационную долговечность асфальтобетона, а также экономию до 10% битума. Приведен перечень технологического оборудования, необходимый для реализации процесса приготовления гранул концентрата асфальтового вяжущего.

Ключевые слова: асфальтобетон, асфальтовое вяжущее, технология, гранулирование.

A.V. RUDENSKY, Doctor of Sciences (Engineering), (ruda0704@yandex.ru), S.A. TARAKANOV, Engineer
ООО «НИИМосстрой» (8, Vinnitskaya Street, 119192, Moscow, Russian Federation)

Improving the Technology of Road Asphalt Concrete Mixes Manufacturing by Using Pre-Prepared Granules of Asphalt Binder Concentrate

A promising trend in the technology of road asphalt-concrete mixes production based on the preliminary preparation of granules of asphalt binder concentrate followed by mixing them with hot crushed stone and sand in the asphalt-mixing plant and introduction of additional quantities of bitumen in the mixer and final mixing of the mixture is considered. This technology makes it possible to improve the homogeneity and quality of the asphalt-concrete mix, strength, water resistance, and operating life of the asphalt-concrete as well as savings of up to 10% of bitumen. The list of technological equipment necessary for realizing the process of preparation of granules of asphalt binder concentrate is presented.

Keywords: asphalt concrete, asphalt binder, technology, granulating.

Совершенствование технологии производства дорожных асфальтобетонных смесей может быть достигнуто за счет внесения принципиальных изменений в традиционную технологическую схему их производства на асфальтобетонных заводах (АБЗ). Традиционная схема производства асфальтобетонных смесей предусматривает предварительное смешивание в горячем состоянии минеральных компонентов (щебня, песка и минерального порошка) с последующим введением в смесь битума и окончательным перемешиванием до получения готовой асфальтобетонной смеси.

Принципиальным недостатком традиционной технологии является то, что при одновременном перемешивании щебня и песка с минеральным порошком происходит обволакивание поверхности частиц щебня и песка тонкодисперсным минеральным порошком, что приводит к «запылению» минеральной поверхности частиц. При этом контакт битума с «запыленной» поверхностью щебня и песка затрудняется, так как частицы минерального порошка в определенной мере препятствуют полноценному контакту битума с поверхностью частиц щебня и песка.

Известно, что для склеивания любых поверхностей важным условием качественного прилипания является тщательная очистка склеиваемых поверхностей от любых посторонних веществ (пыли, грязи, воды и пр.). Битум в составе асфальтобетонной смеси выполняет функции склеивающего агента, в связи с чем для обеспечения качественного сцепления битума с поверхностью частиц щебня и песка их поверхность должна быть чистой, а не «запыленной» минеральным порошком. Качество такого сцепления в составе асфальтобетона является одним из важнейших факторов обеспечения водостойкости, в значительной мере определяющей эксплуатационную долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий.

Для получения необходимого уровня сцепления битума с минеральными материалами, входящими в состав смеси, используют, как правило, дополнительное введение добавок поверхностно-активных веществ, что

ведет к удорожанию процесса приготовления асфальтобетонной смеси.

Минеральный порошок вследствие высокой поверхностной активности и очень большой удельной поверхности (300–400 м²/кг) обладает способностью прилипать к поверхности зерен щебня и песка, образуя комочки, которые при обычной технологии полностью не разрушаются, что существенно ухудшает однородность распределения порошка в составе асфальтобетонной смеси. Известно, что для тонкодисперсных минеральных частиц силы поверхностного взаимодействия могут превышать гравитационные силы.

Поскольку перемешивание минерального порошка не обеспечивает его однородного распределения по поверхности частиц щебня и песка в составе асфальтобетонной смеси, традиционная технология не позволяет получать требуемую однородность асфальтового вяжущего в составе асфальтобетонной смеси. Однородность асфальтового вяжущего в составе асфальтобетона существенно влияет на его прочностные и деформативные характеристики.

Повышение эффективности и качества производства асфальтобетонных смесей может быть достигнуто путем предварительного приготовления гранул асфальтового вяжущего, т. е. смеси битума с минеральным порошком, и введением их в смесь нагретых частиц щебня и песка с последующим окончательным перемешиванием.

По имеющимся результатам, двухстадийная технология, основанная на предварительном смешивании битума с минеральным порошком, обеспечивает, по данным И.В. Королева, повышение однородности асфальтового вяжущего в составе асфальтобетонной смеси и за счет этого повышение прочности асфальтобетона при сжатии при 50°C на 30% с существенным повышением показателей водостойкости и особенно длительной водостойкости [1].

Как показали исследования, раздельная технология производства асфальтобетонных смесей обеспечивает экономию битума в размере 8–14% [1]. Важность влияния асфальтового вяжущего на свойства асфальтобетона также отмечалась в ряде работ [2, 3].

Для реализации этой технологии целесообразно готовить впрок гранулы концентрата асфальтового вяжущего для их последующей поставки на АБЗ. Такие гранулы должны быть сравнительно небольшого размера, чтобы быстро прогреваться при контакте с горячими частицами щебня и песка в асфальтосмесительной установке и хорошо обволакивать их в процессе перемешивания на стадии окончательного приготовления асфальтобетонной смеси. Гранулы не слипаются при хранении если они достаточно жесткие. Это достигается подбором оптимального соотношения битума (Б) и минерального порошка (МП) в их составе. При использовании битума марки БНД 60/90 и традиционного минерального порошка по ГОСТ Р 52129–03 оптимальное соотношение Б:МП в составе гранул должно находиться в пределах 1:4–1:5. Учитывая, что в составе асфальтобетонной смеси соотношение Б:МП обычно находится в пределах 1:2–1:3, в составе гранул содержится количество битума, недостаточное для оптимального приготовления асфальтобетонной смеси. Поэтому при перемешивании гранул со щебнем и песком в смесителе необходимо вводить недостающее количество битума.

Поскольку при приготовлении гранул необходимо использовать минеральный порошок в горячем состоянии (не менее 100°C), организацию их производства целесообразно располагать в комплексе с помольным оборудованием на предприятиях по производству минерального порошка, который направляют сразу на узел грануляции.

Указанная технология позволяет осуществлять производство гранул на АБЗ круглогодично, что весьма эффективно для более полного всесезонного использования оборудования АБЗ.

Для реализации процесса гранулирования необходим комплекс технологического оборудования: расходный бункер для хранения и выдачи МП; питатель-дозатор минерального порошка; смеситель-гранулятор турболопастной; установка для нагрева теплоносителя; битумный насос; два обогреваемых запорных вентиля; ротаметр обогреваемый (прибор для измерения расхода битума); вентиль регулировочный обогреваемый; емкость для предварительного хранения и нагрева битума до рабочей температуры; система обогреваемых битумопроводов; блок управления оборудованием; поточно-транспортная система; склад готовой продукции, а также упаковщик в мешки.

Предварительно в битумной емкости нагревают битум до рабочей температуры. Затем запускают установку нагрева теплоносителя и нагревают битумопроводы, смеситель-гранулятор, битумный насос и запорные вентили, ротаметр и регулировочный вентиль. Далее из расходного бункера МП и битум из емкости подают в смеситель-гранулятор. Необходимое количество МП регулируют питателем-дозатором, а соответствующее количество битума – вентилем регулировочным и ротаметром.

В смесителе-грануляторе МП смешивают с битумом, образующиеся гранулы поступают на поточно-транспортную систему, охлаждаются, упаковываются и складываются.

Список литературы

1. Королев И.В. Пути экономии битума. М.: Транспорт, 1986. 148 с.
2. Руденский А.В. Современный метод проектирования состава асфальтобетона по асфальтовому вяжущему. *Труды Росдорнии*. 2009. Вып. 21/1. С. 201–207.
3. Руденский А.В. Исследование роли битумных мастик в составе асфальтобетона. *Труды Росдорнии*. 2013. Вып. 29/1. С. 217–225.

Возможна организация двухстадийного технологического процесса гранулирования, для которого необходимо: две расходные емкости для временного хранения и выдачи минерального порошка; два питателя-дозатора минерального порошка; турболопастной смеситель-гранулятор для предварительного гранулирования; установка для нагрева теплоносителя; емкость для разогрева битума до рабочей температуры; два битумных насоса; обогреваемый запорный вентиль; два регулятора подачи битума; обогреватель битумопровода; гранулятор для окончательного гранулирования; шкаф и пульт управления; поточно-транспортная система; склад готовой продукции; упаковщик в мешки.

Процесс получения гранул по этой технологии выполняется следующим образом: из первой емкости минеральный порошок питателем подается в турболопастной смеситель-гранулятор, одновременно туда же насосом через регулятор подается из расходной емкости нагретый до рабочей температуры битум, где и происходит процесс смешивания компонентов и предварительного гранулирования. Далее из турболопастного смесителя-гранулятора полученные гранулы направляют во второй гранулятор. В него из второй емкости питателем и вторым битумным насосом подают в необходимом количестве МП и битум. В грануляторе происходит формирование сферических гранул, придание им необходимого размера и уплотнение. Гранулы, достигшие необходимого размера, ссыпают через борт гранулятора в поточно-транспортную систему, где они остывают и поступают на упаковку и на склад.

Технологический процесс получения гранул является непрерывным и управляется в автоматическом режиме. Предварительно выполняется необходимая настройка и регулировка технологического оборудования и систем управления. Асфальтосмесительные установки на АБЗ укомплектованы агрегатами минерального порошка, которые могут быть использованы для кратковременного хранения и дозирования гранул в процессе приготовления асфальтобетонной смеси.

Выводы

1. Технология производства асфальтобетонных смесей, предусматривающая использование предварительно приготовленных гранул концентрата асфальтового вяжущего с последующим их смешиванием в асфальтосмесительной установке с горячим щебнем и песком при добавлении недостающего количества битума, обеспечивает:

– повышение однородности асфальтового вяжущего и за счет этого повышение качества и однородности асфальтобетонной смеси;

– повышение водостойкости и прочности асфальтобетона в водонасыщенном состоянии и соответственно повышение сроков службы дорожных покрытий;

– повышение эффективности технологии производства асфальтобетонных смесей за счет того, что гранулы можно готовить впрок, в том числе в зимнее время; при реализации этой технологии на АБЗ отпадает необходимость в организации складов минерального порошка.

2. Раздельная технология производства асфальтобетонных смесей обеспечивает экономию битума в среднем около 10%.

References

1. Korolev I.V. Puti ekonomii bituma [Ways to save bitumen]. Moscow: Transport. 1986. 148 p.
2. Rudenskii A.V. Modern method of asphalt concrete design based on properties of its asphalt mastic component. *Trudy Rosdornii*. 2009. Vol. 21/1, pp. 201–207. (In Russian).
3. Rudenskii A.V. Investigation of the role of bituminous mastics composed of asphalt concrete. *Trudy Rosdornii*. 2013. Vol. 29/1, pp. 217–225. (In Russian).

Э.В. КОТЛЯРСКИЙ¹, д-р. техн. наук, О.А. ВОЕЙКО¹, канд. техн. наук (olga_voeyko@mail.ru);
Н.С. ЛЕБЕДЕВ², канд. техн. наук

¹ Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (125319, г. Москва, Ленинградский просп., 64)

² Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46)

Воздействие агрессивной среды на изменение поверхностной прочности асфальтобетона

На долговечность асфальтобетона в агрессивной среде противогололедных материалов большое влияние оказывает природа минерального материала, химическая стойкость битума, количество его в смеси, уплотняющая нагрузка и др. факторы. В работе освещены вопросы воздействия противогололедных материалов на изменение поверхностной прочности асфальтобетона.

Ключевые слова: противогололедные материалы, битум, асфальтобетон.

E.V. KOTLYARSKY¹, Doctor of Sciences (Engineering), O.A. VOEYKO¹, Candidate of Sciences (Engineering) (olga_voeyko@mail.ru);
N.S. LEBEDEV², Candidate of Sciences (Engineering)

¹ Moscow State Automobile and Road Technical University (64, Leningradsky Avenue, 125319, Moscow, Russian Federation)

² Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov (46, Kostyukova Street, 308012, Belgorod, Russian Federation)

Impact of Aggressive Environment on Change in Surface Strength of Asphalt Concrete

The nature of a mineral material, chemical durability of bitumen, its quantity in the mix, compacting load, and other factors strongly influence on the durability of asphalt concrete in the aggressive environment of anti-icing materials. The work covers issues of the effect of anti-icing materials on the change in the surface strength of asphalt concrete.

Keywords: anti-icing materials, bitumen, asphalt-concrete.

Требования обеспечения безопасного движения автомобильного транспорта вынуждают в осенне-зимне-весенний период эксплуатации активно использовать противогололедные реагенты. Растворы противогололедных материалов безусловно являются агрессивной средой для асфальтобетона [1, 2].

В процессе взаимодействия с агрессивной средой проявляется физическая форма коррозии строительных материалов [1–3].

Известные методы испытания в качестве количественных критериев предполагают после определенного числа циклов попеременного замораживания и оттаивания фиксировать либо потерю массы образцов, либо потерю их прочности. Многие ученые предлагают перенести этот метод и на определение коррозионной стойкости асфальтобетона, т. е. стойкости материала к воздействию агрессивной среды, в том числе создаваемой противогололедными материалами. Неоднократно было установлено, что в процессе этих испытаний увеличивается потеря массы образцов и снижается прочность [1, 2, 6].

При рассмотрении процесса разрушения образца любого материала очевидно, что все деструктивные процессы развиваются от его поверхности. В связи с этим научный и практический интерес представляет задача экспериментальной оценки изменения строительно-технических и структурно-механических свойств асфальтового бетона при испытании на морозостойкость.

Результаты приведенных стандартных испытаний позволяют установить лишь общий характер изменения исследуемых показателей, хотя непосредственному разрушению подвергается только поверхностный слой образца толщиной Δh , составляющий 200–800 мкм [4–6].

В соответствии с представлениями об аддитивности прочности дисперсных структур, теоретически обоснованной академиком П.А. Ребиндером и его школой, применительно к битумо-минеральным смесям прочность зависит от количества контактов в единице объема, как правило в 1 см^3 , и средней силы сцепления в контакте. Она может быть рассчитана по формуле (1):

$$P_m = k_1 \cdot F_c \cdot n^{2/3} = k_2 \cdot F_c \cdot \phi \cdot S_{уд}^2 = k_3 \cdot F_c \cdot \phi \cdot d_i^{-2}, \quad (1)$$

где P_m – предельное напряжение сдвига; n – число контактов в единице объема; ϕ – относительная плотность высококонцентрированной дисперсной системы; $S_{уд}$ – удельная поверхность частиц дисперсной фазы; d_i – характерный размер этих частиц.

Если предположить, что поверхность асфальтобетонных образцов при испытании на морозостойкость разрушается относительно однородно, то через определенное количество циклов попеременного замораживания и оттаивания можно подсчитать объем материала, в котором элементарные контакты еще способны сопротивляться внешним эксплуатационным воздействиям (рис. 1).

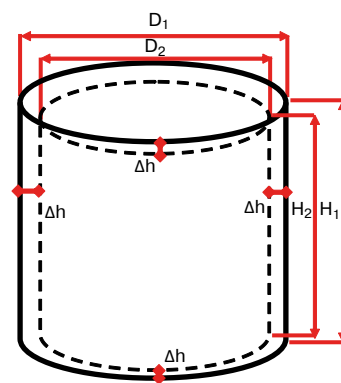


Рис. 1. Расчетная схема для определения текущего объема и поверхности цилиндрических асфальтобетонных образцов при испытании на морозостойкость

$$\Delta V_n = V_{обр}^{нач} - V_{обр}^n, \quad (2)$$

$$\text{где } V_{обр}^{нач} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h; \quad (3)$$

$$V_{обр}^n = \frac{\pi(d - 2\Delta h_{разр})^2}{4} \cdot (h - 2\Delta h_{разр}); \quad (4)$$

$$\Delta V_n = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h - \frac{\pi(d - 2\Delta h_{разр})^2}{4} \cdot (h - \Delta h_{разр}). \quad (5)$$

Определив среднее число контактов в единице объема в каждом из исследуемых составов, можно оценить количество контактов, не работающих после очередного числа циклов испытания.

Поверхность образца в процессе испытания со- ставит:

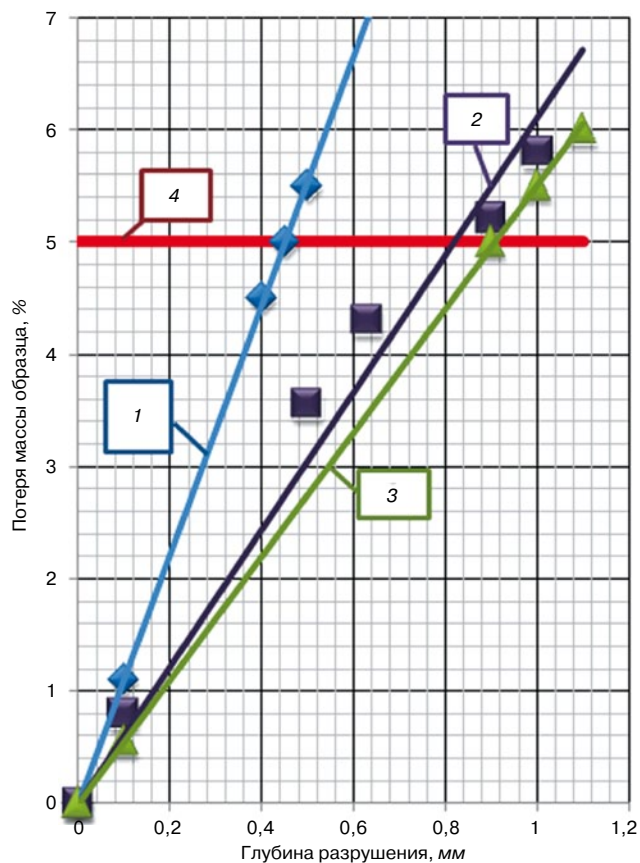


Рис. 2. Зависимость потери массы образцов от глубины разрушения поверхностного слоя, мм: 1 – диаметр образцов 50,5 мм ($y=0,1014x+0,0021$, $R^2=0,9982$); 2 – диаметр образцов 71,4 мм ($y=0,0727x+0,0018$, $R^2=0,9982$); 3 – диаметр образцов 101 мм ($y=0,0522x+0,0012$, $R^2=0,9984$); 4 – требования ГОСТа

$$S_i = 2 \cdot \frac{\pi(d - 2h_{\text{разр}})^2}{4} + (h - 2h_{\text{разр}}) \cdot \pi \cdot (d - h_{\text{разр}}). \quad (6)$$

Тогда среднюю величину глубины разрушения выражаем через формулу:

$$\Delta h_{\text{разр}} = \frac{V_i}{S_i}. \quad (7)$$

Как уже отмечалось, оценка морозостойкости материалов в любой среде, в том числе и агрессивной солевой, может производиться по величине потери массы Δm . По экспериментально полученным данным в процессе испытания на морозостойкость, значения остаточной пористости связаны со средней плотностью образцов:

$$\rho_i = \rho \cdot \left(1 - \frac{V_{\text{пор}}^{\text{ост}}}{100} \right). \quad (8)$$

Потеря массы образца:

$$\Delta m = m_0 - m_i = \rho_0 \cdot V_0 - \rho_i \cdot V_i. \quad (9)$$

В результате проведенных экспериментов в лаборатории кафедры дорожно-строительных материалов МАДИ была установлена взаимосвязь между потерей массы образцов различного размера с глубиной разрушенного поверхностного слоя (рис. 2). Линейная регрессионная модель обладает высокой степенью точности (коэффициент множественной корреляции $R^2 > 0,99$).

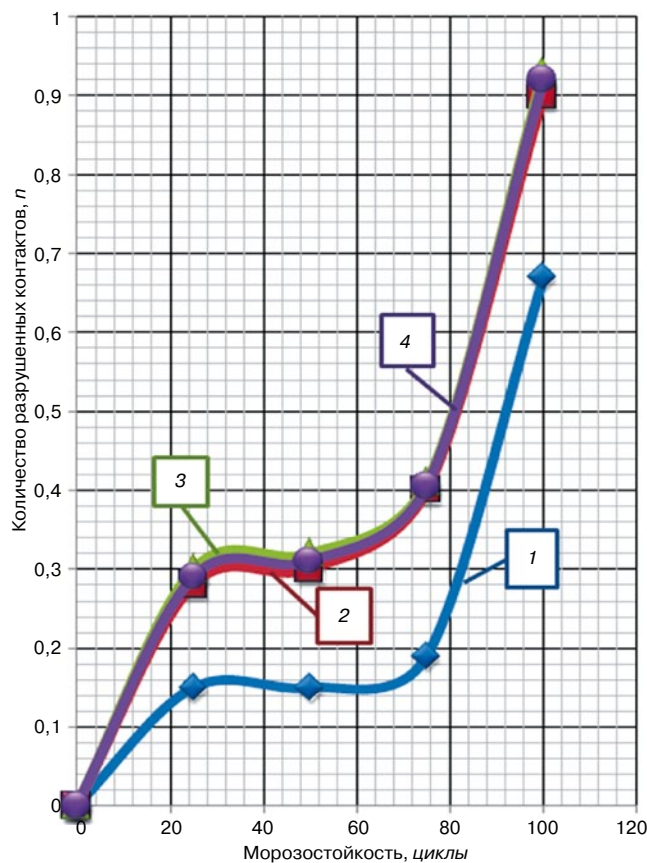


Рис. 3. Изменение количества разрушенных контактов в поверхностном слое асфальтобетонных образцов при испытании на морозостойкость: 1 – горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б на гранитном щебне; 2 – горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа В на гранитном щебне; 3 – горячий песчаный асфальтобетон типа Д; 4 – горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б на известняковом щебне

На рис. 2 видно, что даже при весьма незначительных разрушениях поверхностного слоя действующий, т. е. способный сопротивляться, объем может значительно меняться. Расчеты показали, что при 5% потере массы образцов диаметром 101 мм величина не превышает 1 мм.

Другим значимым показателем является остаточная пористость. Изменение данного показателя определялось по стандартной методике. Анализ изменения остаточной пористости испытанных составов асфальтовых бетонов после попеременного замораживания и оттаивания позволил количественно оценить глубину разрушения поверхностного слоя образцов, количество условно разрушенных микроконтактов, а также коэффициент морозостойкости поверхностного слоя (рис. 3, 4).

Параллельно для оценки относительной поверхностной прочности асфальтобетона использовали методику, разработанную в диссертации О.А. Швагиревой. Измерения производили на приборе «Оникс».

Установлено (рис. 3, 4), что в начальный период испытания, примерно до 20–25 циклов замораживания и оттаивания, разрушение поверхностного слоя асфальтобетонных образцов протекает довольно интенсивно. Для асфальтобетона типа Б на гранитном щебне поверхностный слой разрушается на глубину примерно 150 мкм, для асфальтобетона типа В на гранитном щебне, для типа Б на известняковом – 240 мкм, а для песчаного асфальтобетона – 280 мкм. Затем процесс разрушения стабилизируется и после 75 циклов замораживания-оттаивания соответственно достигает

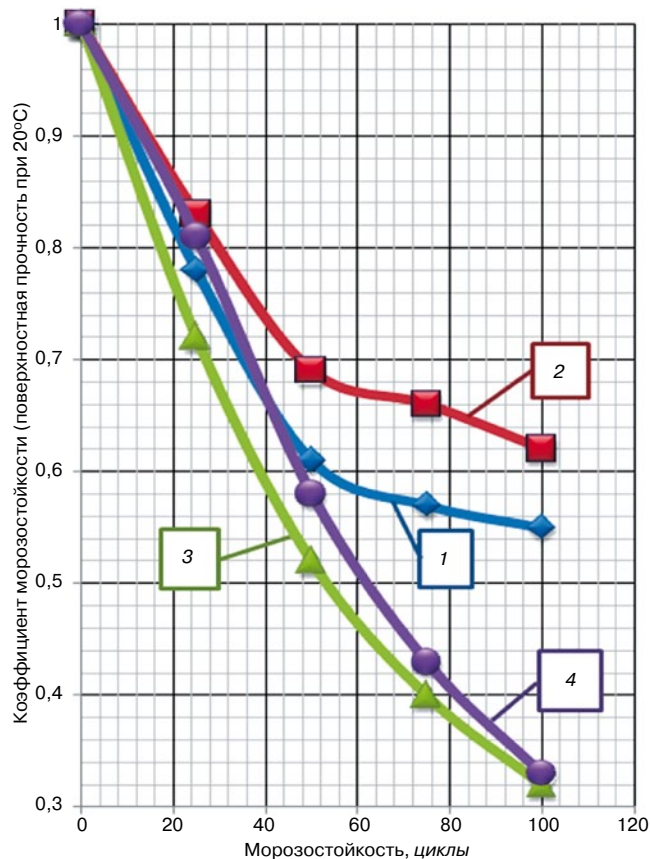


Рис. 4. Изменение относительной поверхностной прочности асфальтобетонных образцов при испытании на морозостойкость: 1 – горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б на гранитном щебне; 2 – горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа В на гранитном щебне; 3 – горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Б на известняковом щебне; 4 – горячий плотный мелкозернистый асфальтобетон типа Д

200, 400 и 340 мкм. После 75 циклов испытания интенсивность разрушения поверхностного слоя резко возрастает и к 100 циклам составляет уже 680, 920 и 910 мкм соответственно.

Необходимо отметить, что у составов на известняковом щебне или с высоким содержанием известнякового минерального порошка поверхностный слой разрушается интенсивнее и на большую глубину.

Это подтвердилось и при оценке относительной поверхностной прочности. Коэффициент морозостойкости $k'_{мрз} = \frac{R_{пов}^{100}}{R_0^{пов}}$ после 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания у асфальтобетона на гранитном щебне составил 0,54, на известняковом – 0,33, а у песчаного асфальтобетона и малощебенистого типа В на гранитном щебне с высоким содержанием известнякового минерального порошка – 0,32.

Заключение

Полученные результаты позволяют сформулировать основные выводы:

1. При попеременном замораживании и оттаивании в растворах противогололедных реагентов основные разрушения асфальтобетона происходят в его поверхностном слое.
2. Интенсивность разрушения поверхностного слоя зависит от природы крупного заполнителя и содержания известнякового минерального порошка.
3. Природа поверхностных разрушений, очевидно, связана с контактными взаимодействиями структур-

ных элементов асфальтобетонов, что требует дополнительного изучения.

4. Аналогичные деструктивные процессы в поверхностном слое протекают при длительном водопоглощении, а их интенсивность зависит от адгезионных свойств применяемых органических вяжущих.

Список литературы

1. Котлярский Э.В. Повышение долговечности покрытий автомобильных дорог за счет оптимизации структуры асфальтобетонов. Дисс... доктора техн. наук. Белгород. БГТУ, 2012.
2. Котлярский Э.В., Воейко О.А. Долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий и факторы, способствующие разрушению структуры асфальтобетона в процессе эксплуатации. М.: Техполиграфцентр, 2007. 136 с.
3. Котлярский Э.В., Воейко О.А. Влияние противогололедных реагентов на свойства битумов и асфальтобетонов // *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2008. № 4. С. 39–41.
4. Котлярский Э.В. О необходимости учета условий эксплуатации асфальтобетона в конструктивных слоях дорожной одежды // *Сб. статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона*. МАДИ, 2009. С. 61–72.
5. Котлярский Э.В. Роль эксплуатационных воздействий в изменении параметров асфальтобетонного покрытия // *Сб. статей и докладов ежегодной научной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона*. МАДИ, 2010. С. 107–117.
6. Котлярский Э.В. Изменение характеристик дорожного покрытия из асфальтобетона в зависимости от эксплуатационных воздействий // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2010. № 1. С. 53–59.

References

1. Kotlyarskii E.V. Improving the durability of coatings of highways by optimizing the structure of asphalt. Doctor Diss. (Engineering). Belgorod. BG TU. 2012. (In Russian).
2. Kotlyarskii E.V., Voeiko O.A. Dolgovechnost' dorozhnykh asfal'tobetonnykh pokrytii i faktory, sposobstvuyushchie razrusheniyu struktury asfal'tobetona v protsesse ekspluatatsii [Durability of road asphalt concrete pavement and the factors contributing to the destruction of the structure of asphalt concrete in service]. Moscow: Tekhpolygraftsentr. 2007. 136 p.
3. Kotlyarskii E.V., Voeiko O.A. Influence of anti-reagents on the properties of bitumen and asphalt. *Nauka i tekhnika v dorozhnoi otrasli*. 2008. No. 4, pp. 39–41. (In Russian).
4. Kotlyarskii E.V. On the necessity of taking into account the operating conditions in the structural layers of asphalt concrete pavement. *Collection of articles and reports annual scientific session of the association of researchers blacktop*. MADI. 2009, pp. 61–72. (In Russian).
5. Kotlyarskii E.V. The role of the operational impacts of a change in the parameters of asphalt concrete pavement. *Collection of articles and reports annual scientific session of the association of researchers blacktop*. MADI. 2010, pp. 107–117. (In Russian).
6. Kotlyarskii E.V. Changing the characteristics of the asphalt pavement depending on the operational impact. *Vestnik BG TU im. V.G. Shukhova*. 2010. No. 1, pp. 53–59. (In Russian).

УДК 625.861

И.М. БАРАНОВ¹, канд. техн. наук (emitpb@mail.ru); Ю.М. ЕГОРОВ², вед. научн. сотрудник¹ ООО «НТЦ ЭМИТ» (109316, г. Москва, Остаповский пр-д, 13, стр. 2)² МКБ «Горизонт» (140091, Московская обл., г. Дзержинский, ул. Энергетиков, 7)

Новые композиционные минералполимеры и термопластобетон для применения в дорожном и специальном строительстве

Представлены результаты исследований физико-технических свойств разрабатываемых минералполимеров и термопластобетона, а также данные об изменении прочностных свойств этих бетонов в зависимости от содержания полимерной составляющей. При анализе результатов установлено, что увеличение содержания полимерного связующего в составах композитов сопровождается снижением прочности при сжатии и повышением прочности при изгибе. При этом повышается эластичность бетона, которая в виде соотношения $R_{изг}/R_{сж}$ имеет следующие показатели: для бетонов с прочностью при сжатии 75–85 МПа – 0,20–0,23, а для бетонов с прочностью при сжатии 45–55 МПа – 0,4–0,5. Установлено также что эластичные минералполимербетоны с их закрытой пористостью по сравнению с цементными бетонами имеют меньшие значения водопоглощения, меньшее снижение прочности при увлажнении и значительно более высокую морозостойкость.

Ключевые слова: минералполимеры, термопластобетон, полимерное связующее, композиты, бетон.

I.M. BARANOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (emitpb@mail.ru), General Manager; Yu.M. EGOROV², Leading Researcher

¹ ООО «NTTS EMIT» (Structure 2, 13, Ostapovsky Drive, Moscow, 109316, Russian Federation)

² МКБ «Gorizont» (7, Energetikov Street, Dzerzhinsky, 140091, Moscow Region, Russian Federation)

New Composite Mineral-Polymers and Thermoplast-Concrete for Using in Road and Special Construction

Results of the study of physical-technical properties of mineral-polymers and thermoplast-concrete under development, as well as the data on changes in the strength properties of these concretes depending on the content of the polymer component in their compositions, are presented. In the course of the analysis of results it is established that the increase in the content of polymer binder in composite composition is accompanied by the decrease in compressive strength and by increase in bending resistance. Along with this, there is an increase in the concrete elasticity which as the ratio of $R_{bending}/R_{compression}$ has the following values for concretes with the compressive strength of 75–85 MPa – 0.20-0.23 and for concretes with the compressive strength of 45-55 MPa – 0.40-0.50. It is also established that elastic mineral-polymer-concretes with their closed porosity in comparison with cement concretes have smaller values of water absorption, smaller decrease in the strength in the course of humidification and significantly higher frost-resistance.

Keywords: mineral-polymers, thermoplast-concrete, polymer binder, composites, concrete.

В связи с возросшими в настоящее время грузоперевозками, грузоподъемностью автомобилей и скоростью их движения возникла острая необходимость в создании автодорог, которые отвечали бы современным требованиям безопасности и комфорту движения. Современный подход к строительству автомобильных дорог требует создания не только высокопрочных и трещиностойких покрытий, но и значительного повышения их долговечности, а также снижения затрат на их

ремонт. Улучшить физико-механические характеристики дорожных бетонов на основе цемента и повысить их долговечность, как это требуется, сегодня уже проблематично. Гораздо проще решать эти задачи с помощью принципиально новых композиционных материалов. Минералполимеры и термопластобетон, по нашему мнению, могут соответствовать этим требованиям. Перечень таких материалов и их назначение приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вид материала	Эластичность, $R_{изг}/R_{сж}$	Назначение материала	Вид продукции и изделий
Минерал-полимер-бетон	0,2–0,3	Бетон для изготовления изделий дорожных и специальных сооружений	Блоки разделительных полос, отбойники, ограждения и др.
	0,4–0,5	Бетон для устройства дорожных покрытий, взлетных полос аэродромов, изготовления шпал для скоростных железных дорог, строительства и ремонта гидротехнических сооружений	Шпалы для скоростных железных дорог, плиты, монолит, штукатурки, ремонтные смеси
Песчаный эластичный бетон	–	Бетон для устройства полов в гаражах, складах, производственных и сельскохозяйственных помещениях	Монолит, штукатурки
Герметик	–	Герметик для гидроизоляции пролетных строений мостов и в качестве заменяемой защиты строительных конструкций от радиоактивного излучения	Наливная гидроизоляция, безрулонная наливная кровля
Термопласто-бетон	0,2–0,3	Композит для устройства износостойких дорожных покрытий, решеток для полов животноводческих помещений, применения при строительстве АЭС и могильников радиоактивных отходов	Монолитные и сборные конструкции, плиты, изделия, смеси для устройства и ремонта дорожных покрытий

Таблица 2

Показатель	Значения показателей					
	Бетон для изготовления изделий дорожных и специальных сооружений		Бетон для устройства дорожных покрытий, изготовления шпал для скоростных железных дорог и применения в гидротехническом строительстве		Эластичные композиты	
	Мелко-зернистый бетон	Бетон с крупным заполнителем	Мелко-зернистый бетон	Бетон с крупным заполнителем	Песчаный бетон	Герметик
Содержание полимера, % к цементу	10	10	30	30	100	100
Консистенция смеси по: – погружению конуса СтройЦНИЛа, см – осадке стандартного конуса, см	8–10 –	– 12–15	8–10 –	– 12–15	8–10 –	– –
Прочность при сжатии в пределах 15% деформаций сухих образцов после 28 сут твердения $R_{сж}$, МПа	78–83	74–76	$\frac{51-55}{60-70}^*$	46–48	20–30	–
Прочность при изгибе до наступления упругоэластических деформаций образцов $R_{изг}$, МПа	16–19	15–17	$\frac{25-27}{30-35}^*$	20–23	8–10	2,5–4,5
Эластичность $R_{изг}/R_{сж}$	0,21–0,23	0,2–0,21	0,49–0,5	0,43–0,48	–	–
Адгезия к бетону, МПа	2–2,5	1,5–2	2,5–3,5	2–3	3–4	5–6
Водопоглощение сухих образцов, %	2,1–3,6	2,5–3,5	0,8–1,9	1,8–2,7	0,6–1,2	0,5–0,8
Снижение прочности при увлажнении, %	8–12	10–15	4–5	7–8	2–3	1–1,5
Морозостойкость, циклы	350–500 (в воде)	300–350 (в воде)	>300 (в солях)	300 (в солях)	–	–
Ориентировочная стоимость материалов в 1 м ³ бетона	19060	–	29400	–	51000	63000

Примечание. * Значения прочностных свойств бетона с базальтовой фиброй.

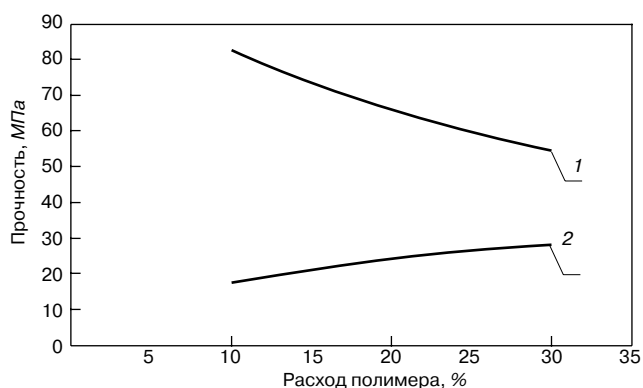


Рис. 1. Влияние расхода полимера в составе мелкозернистого минералполимербетона на прочность (после 28 сут твердения): 1 – прочность сухих образцов при сжатии; 2 – прочность сухих образцов при изгибе

Задача разработки эластичных бетонов с высокими физико-механическими свойствами и водостойкостью решалась путем использования акриловых сополимеров в виде эмульсий в качестве полимерного связующего, которое в отвержденном состоянии придает бетону необходимые свойства. Эта работа является продолжением ранее проведенных исследований [1].

Минералполимерные бетоны в зависимости от их назначения готовят по рецептурам, включающим: портландцемент, полимерное связующее, комплексный отвердитель полимера, пластификатор, противоусадочную добавку, песок, щебень, тонкомолотый наполнитель, дисперсное волокно и при необходимости воду. Выбор полимерного связующего и его расход в составах



Рис. 2. Опытная мобильная установка с СВЧ-нагревателями для прогрева горизонтальной поверхности. Техническая характеристика: потребляемая мощность 30 кВт; мощность СВЧ-излучателя 20 кВт; частота излучения 2450 МГц; площадь излучателя 1,5–1 м²

минералполимерного бетона назначаются в зависимости от области применения изделий, изготовленных из этого бетона. При этом в бетоне для изготовления блоков разделительных полос и отбойников расход полимерного связующего составляет 8–12% от расхода цемента, а в бетоне для устройства дорожных покрытий может составлять до 20–30%. Эластичные композиции – песчаный бетон и герметик для гидроизоляции пролетных строений мостов готовятся без применения цемента.

Основные физико-технические свойства и стоимость разработанных минералполимерных бетонов и эластичных композитов для оценки актуальности этих материалов приведены в табл. 2, а на рис. 1 показаны графические зависимости изменения прочностных свойств минералполимербетона от расхода полимера. Полученные результаты испытаний минералполимер-

ных бетонов показывают, что увеличение содержания полимерной составляющей в их составе сопровождается снижением прочности при сжатии и повышением прочности при изгибе. При этом повышается эластичность бетона, снижается водопоглощение, а водостойкость и морозостойкость возрастают.

Термопластобетон — это композиционный бетон, получаемый по совершенно новой технологии, отличающейся от известных технологий получения, например, серобетона, приготовление которого производится в специальных смесителях путем перемешивания расплава серы с наполнителями или горячих заполнителей с серой. Термопластобетон получают путем замены части мелкого заполнителя (песка) в цементном бетоне на порошковый термопласт. Затем после приобретения этим бетоном необходимой прочности прогревают его с помощью мобильных установок с СВЧ-нагревателями (рис. 2, 3).

Таблица 3

Наименование термопласта	Температура плавления, °С	Водопоглощение остывшего расплава, %
Полиэтилен	210	1,89
Сэвилен	130	0,11
Полистирол	190	0,43
Этилен-акрил	190	0,78
Затвердевшие акриловые сополимеры	200–260	0,65–2,74
Сера	119	0,27

Таблица 4

Показатель	Значения показателей для:	
	бетонных образцов	образцов из термопластобетона
Плотность, кг/м ³	2346	2310
Предел прочности, МПа:		
	– при сжатии	78
– при изгибе	16,6	21,4
Эластичность, R _{изг} /R _{сж}	0,21	0,24
Водопоглощение, %	5,8	1,8
Снижение прочности при увлажнении, %	12	5
Адгезия к бетону, МПа	—	5–6 (при применении адгезивной акриловой грунтовки)

Перечень порошковых термопластов, пригодных для использования в технологии производства термопластобетона, приведен в табл. 3.

В работе при проведении экспериментальных исследований в качестве полимерной составляющей термопластобетона использовали сэвилен — сополимер этилена с винилацетатом.

Качественные показатели выбранной марки сэвилена 11808–340:

Плотность, г/см³ 0,950
 Текучесть расплава при 125°С, г/10 мин. 28–40
 Прочность при разрыве, МПа 11,3
 Относительное удлинение при разрыве, %, не менее 600
 Адгезионная прочность, кг/см², не менее 3,5

Исследования проводили на образцах размером 200×150×100 мм и балочках размером 40×40×160 мм. Бетон имел следующий расход основных сухих компонентов (мас. ч.):

Портландцемент М500 1
 Песок фр. 0,1–0,4 мм 0,43
 Песок фр. 0,4–0,8 мм 0,57
 Микрокремнезем 0,2
 Диабазовая мука 0,3
 Сэвилен 0,25

Образцы твердели 28 сут в нормально-влажностных условиях и имели прочность при сжатии 78 МПа при влажности 7%.

Прогрев образцов производили на стеновой установке «Вертикаль» (рис. 3).

Температуру в образцах определяли с помощью хромель-копелевой термопары.

Время прогрева образцов с сэвиленом до температуры 140°С составляло 5 мин.



Рис. 3. Опытная стеновая установка «Вертикаль» с СВЧ-нагревателями для прогрева вертикальной поверхности. Технические характеристики: излучающая система на базе резонатора с 6 магнетронами; потребляемая мощность 10 кВт; мощность СВЧ-излучателя 5 кВт; частота излучателя 2450 МГц; 1 – модуль СВЧ-нагрева; 2 – тележка; 3 – направляющая с приводом перемещения тележки



Рис. 4. Лабораторный смеситель с переменной скоростью вращения рабочего органа 0–1000 об/мин, возможностью вакуумирования и выгрузки бетонной смеси с помощью сжатого воздуха

При пробном прогреве бетонных образцов до температуры 200°C со скоростью нагрева 30°C/мин разрушений не наблюдалось, что объясняется высокой прочностью бетона.

Результаты испытаний опытных образцов после их прогрева (термопластобетона) приведены в табл. 4.

Разработка минералполимербетонных композитов на основе акриловых сополимеров производилась в конце 90-х гг. прошлого столетия. Тогда были разработаны: песчаный бетон, штукатурный раствор и цементный клей. Свойства этих строительных материалов приведены в статье «Композиционные гипсополимерные материалы» (см. табл. 7 [2]). Эти материалы применялись тогда в опытном порядке при ремонте эстакад московских путепроводов в Отрадном и Северянине.

Разработка термопластобетона производится в инициативном порядке.

Для приготовления относительно качественной бетонной смеси можно применять стандартное смесительное оборудование с высокими оборотами рабочего органа. Однако высокой прочности бетона из-

вестные смесители не обеспечивают, поэтому в данной работе задачу получения особо прочных бетонов (прочность при сжатии до 170 МПа) нам помогали решать опытный образец специально разработанного лабораторного смесителя с объемом замеса 35 л и высокоэнергетическим воздействием на перемешиваемую смесь (рис. 4). В настоящее время разрабатываются образцы смесителей промышленного назначения с объемом замеса 300 и 1000 л. Другое новое оборудование – СВЧ-нагреватели в виде мобильной установки для прогрева горизонтальной поверхности и в виде стеновой установки для прогрева вертикальной поверхности разрабатывалось специалистами МКБ «Горизонт».

Таким образом, полученные результаты испытаний новых композиционных материалов, разработанных в виде различных мелкозернистых бетонов, бетонов с крупным заполнителем и штукатурок, показывают, что технологии их получения, а также новое оборудование, специально разработанное для их приготовления, смогут обеспечить эффективное использование этих материалов в соответствии с назначением.

Список литературы

1. Баранов И.М. Композиционные минералполимерные строительные материалы на основе акриловых сополимеров // *Строительные материалы*. 2012. № 2. С. 68–74.
2. Баранов И.М. Композиционные гипсополимерные материалы // *Строительные материалы*. 2008. № 8. С. 25–29.

References

1. Baranov I.M. Composite mineral-polymer construction materials on the basis of acrylic copolymer. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 2, pp. 68–74 (In Russian).
2. Baranov I.M. Gypsum polymeric composite materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 8, pp. 25–29. (In Russian).

VII Международная конференция

НАНОТЕХНОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

21–23 марта 2015 г.

Шарм-эль-Шейх, Египет

Организаторы конференции

Египетско-российский университет (ERU)

Национальный исследовательский центр жилья и строительства (НБРС)

Ижевский государственный технический университет

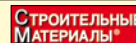
им. М.Т. Калашникова



Тематика конференции

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

Информационная поддержка – журнал «Строительные материалы»®



Сайт конференции: http://inter.istu.ru/russian/nano_r.html

Контактная информация в Египте

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

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

Контактная информация в России

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

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

УДК 691.168

В.В. ЕФРЕМЕНКОВ, канд. техн. наук, первый зам. директора (stromizmeritel@rambler.ru)

ЗАО «Стромизмеритель» (603116, г. Нижний Новгород, ул. Гордеевская, 59Е)

Совершенствование систем дозирования битума в производстве асфальтобетонных смесей

Рассмотрены вопросы совершенствования систем дозирования горячего битума. Представлена конструкция модернизированного дозатора битума, содержащая вертикальный цилиндрический элемент, расположенный внутри приемной емкости дозатора и связанный с S-образным тензометрическим датчиком. Принцип дозирования битума в модернизированном дозаторе заключается в измерении и масштабировании массы битума, вытесненного вертикальным цилиндрическим элементом при заполнении приемной емкости. Показана возможность дополнительного вычисления плотности дозируемого материала, которая осуществляется с помощью вертикального цилиндрического элемента усовершенствованной формы. Измеренное значение плотности битума внутри приемной емкости дозатора применяется для адаптивного управления дозированием. Отмечено, что использование представленных схем измерения массы битума упрощает процесс модернизации существующих дозаторов и сокращает затраты на реконструкцию действующих асфальтобетонных заводов.

Ключевые слова: асфальтобетонная смесь, битум, дозатор, вертикальный цилиндрический элемент, масштабирующий коэффициент, плотность.

V.V. EFREMENKOV, Candidate of Sciences (Engineering), First Deputy Director (stromizmeritel@rambler.ru)
ZAO «Stromizmeritel'» (59E, Gordeevskaya Street, Nizhny Novgorod, 603116, Russian Federation)

Improvement of Bitumen Dosing Systems for Manufacturing Asphalt-Concrete Mixes

Issues of improving systems of hot bitumen dosing are considered. The design of the modernized bitumen batcher containing the vertical cylindrical element located inside the receiving container and connected with the S-shaped strain meter is presented. The principle of bitumen dosing in the upgraded batcher is in the measurement and scaling of bitumen weight displaced by the vertical cylindrical element when filling in the receiving container. The possibility of additional calculation of the density of the dosing material, which is carried out using the vertical cylindrical element of an improved form is shown. The measured value of the concrete density inside the receiving container of the batcher is used for the adaptive control over dosing. It is noted that the use of presented schemes of bitumen weight measurement simplifies the process of modernization of existing batchers and reduces the costs of reconstruction of operating asphalt-concrete plants.

Keywords: asphalt-concrete mix, bitumen, batcher, vertical cylindrical element, scaling.

Одним из основных технологических параметров, оказывающих значительное влияние на процесс приготовления асфальтобетонной смеси, а также на конечное качество и эксплуатационные характеристики дорожного асфальтобетонного покрытия, является точность дозирования горячего битума, используемого в качестве вяжущего материала в производстве различных видов асфальтобетона. Дозирование горячего битума в подобных производствах осуществляется либо с помощью шестеренчатых насосов, производительность которых контролируется по времени их работы, количеству оборотов рабочих органов (шестерен) или по показаниям импульсных расходомеров, либо с помощью объемных и весовых дозаторов, оснащенных поплавковыми, рычажными и тензометрическими системами взвешивания.

Использование шестеренчатых насосов не всегда обеспечивает требуемую стабильность и точность дозирования, так как при заданной продолжительности включения насоса объем и масса перекачиваемых порций битума зависят от его температуры, вязкости и удельной плотности. Также с колебаниями этих параметров связаны и погрешности дозирования объемных бункерных устройств, оборудованных поплавковыми измерителями уровня и рычажно-циферблатными схемами измерения массы.

Наибольшая точность дозирования горячего битума достигается весовыми дозаторами, в которых приемная емкость материала устанавливается на два или три балочных тензометрических датчика либо шарнирно подвешивается на один S-образный датчик загруженной массы, закрепленный на металлоконструкциях асфальтобетонной установки. Определенным недостатком этих систем дозирования является то, что закачивающие и откачивающие трубопроводы битума не могут иметь жестких соединений с конструкцией приемной

емкости. Загрузка и выгрузка дозируемого расплава битума производится сверху через отверстия в крышке дозатора. Кроме того, указанные системы подлежат полной замене объемных дозаторов, применяемых на многих асфальтобетонных заводах, на новые конструкции бункерных дозирующих устройств, что не всегда целесообразно из-за высокой стоимости подобного оборудования и необходимости нового монтажа отдельных участков битумопроводов.

В связи с этим представляет интерес модернизация объемных дозаторов, которая позволяет не только существенно повысить точность дозирования битума, но и за счет сохранения жестких соединений трубопроводов с приемной емкостью дозирующего агрегата, а также упрощения схемы взвешивания сократить затраты на реконструкцию существующих асфальтобетонных установок.

Специалистами ЗАО «Стромизмеритель» для этих целей разработана и запатентована простая конструкция устройства, позволяющая легко интегрировать ее в различные системы измерения массы дозируемого битума.

Модернизированный дозатор битума с этим устройством (рис. 1, а) содержит: приемную емкость с подогревом (не показан) и крышкой; трубопровод подачи битума из системы рециркуляции; электромагнитный клапан, установленный на трубопроводе; откачивающий трубопровод с насосом; S-образный тензометрический датчик, закрепленный на раме; монтажный стержень; вертикальный цилиндрический элемент, находящийся внутри приемной емкости; блок контроля и управления; пускатель электромагнитного клапана; пускатель насоса.

Работа данного дозатора, основанная на измерении и масштабировании массы битума, вытесняемой вертикальным цилиндрическим элементом, осуществляется следующим образом. По команде блока контроля и управления включается магнитный пускатель, который

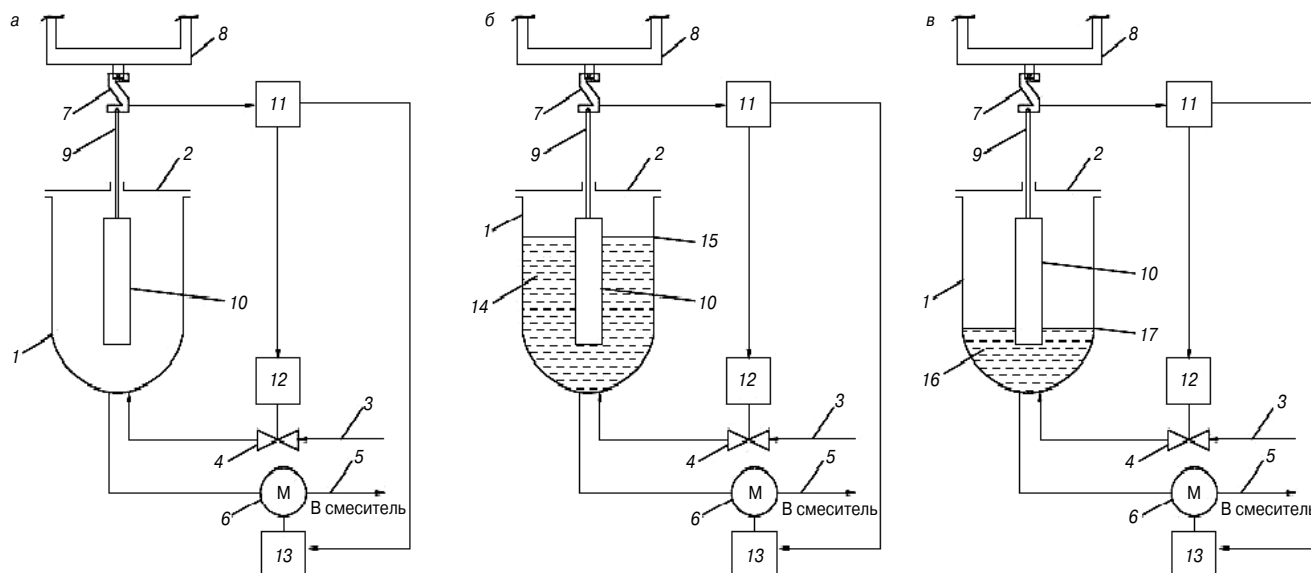


Рис. 1. Модернизированный дозатор битума: 1 – приемная емкость; 2 – крышка; 3 – трубопровод подачи битума; 4 – электромагнитный клапан; 5 – откачивающий трубопровод битума; 6 – насос; 7 – S-образный тензометрический датчик; 8 – рама; 9 – монтажный стержень; 10 – вертикальный цилиндрический элемент; 11 – блок контроля и управления; 12 – пускатель электромагнитного клапана; 13 – пускатель насоса; 14 – битум; 15 – уровень битума, соответствующий заданному значению массы дозируемой порции; 16 – остаточный тарный вес битума; 17 – уровень битума, соответствующий остаточному тарному весу; а, б, в – модернизированный дозатор, пустой и заполненный битумом до разного уровня (описание в тексте)

открывает электромагнитный клапан подачи битума из системы его подготовки и рециркуляции. Горячий битум по трубопроводу начинает поступать в приемную емкость и заполнять ее до уровня (рис. 1, 15), соответствующего заданному значению массы дозируемой порции (рис. 1, б). При этом первое заполнение дозатора битума, а также все последующие циклы загрузки и разгрузки приемной емкости осуществляются с учетом остаточной тарной массы 16 битума, ограниченной уровнем 17 (рис. 1, в).

В исходном состоянии масса $P_{и}$ вертикального цилиндрического элемента вместе со стержнем имеет постоянное значение и зависит только от параметров его конструкции (объем элемента, масса элемента и пр.). По мере заполнения приемной емкости жидким расплавом битума масса элемента начинает снижаться в соответствии с законом Архимеда на величину $P_б$, равную массе битума, вытесненной объемом данного элемента, погруженного в дозируемый материал. Поэтому результирующая масса $P_р$, которая воздействует на нижнее плечо S-образного датчика, тоже уменьшается и ее в этом случае можно представить выражением:

$$P_р = P_{и} - P_б. \quad (1)$$

Далее сигнал с тензометрического датчика, пропорциональный данной массе $P_р$, поступает в блок контроля и управления для необходимых вычислений и формирования управляющих команд на пускатели.

Важным расчетным параметром при этом является масштабирующий коэффициент:

$$K_м = V_{пе}/V_{цэ}, \quad (2)$$

где $V_{пе}$ – объем приемной емкости, ограниченный уровнями битума (рис. 1, 15, 17); $V_{цэ}$ – объем вертикального цилиндрического элемента, ограниченный соответствующими уровнями (15, 17).

Вычисление общей массы $P_{общ}$ отдозированной порции материала производится умножением измеренной массы битума $P_б$, вытесненной вертикальным цилиндрическим элементом, на масштабирующий коэффициент $K_м$:

$$P_{общ} = K_м P_б. \quad (3)$$

Подставляя в равенство (3) значения $K_м$ и $P_б$ из выражений (1) и (2), получаем соотношение:

$$P_{общ} = V_{пе}/V_{цэ} (P_{и} - P_р). \quad (4)$$

Учитывая, что все параметры в соотношении (4) кроме $P_р$ имеют постоянное значение в процессе дозирования заданной порции материала, а также зная измеренную массу вертикального цилиндрического элемента, погруженного в битум на определенную глубину, можно легко вычислить массу битума во всем полезном объеме приемной емкости.

Например, при $P_{и} = 10$ кг; $P_р = 7,8$ кг; $V_{пе} = 50$ дм³; $V_{цэ} = 2$ дм³.

$$P_{общ} = 50 \text{ дм}^3 / 2 \text{ дм}^3 (10 \text{ кг} - 7,8 \text{ кг}) = 55 \text{ кг}.$$

Следовательно, измеренное уменьшение массы вертикального цилиндрического элемента всего на 2,2 кг соответствует после масштабирования массе отдозированной порции битума, равной 55 кг.

Таким образом, увеличивая или уменьшая значение масштабирующего коэффициента (производится изменением соотношения объемов вертикального цилиндрического элемента и приемной емкости дозатора), можно с помощью одной и той же измерительной системы и одного и того же тензометрического датчика с небольшим диапазоном измерения массы осуществлять контроль за дозированием битума в широких пределах и с высокой точностью.

После проведения всех вычислений и набора необходимого количества битума в приемной емкости блок контроля и управления формирует команду на закрытие электромагнитного клапана и включение пускателя насоса, перекачивающего отдозированный материал в смеситель асфальтобетона. Уровень битума в приемной емкости в процессе разгрузки снижается и после перекачивания заданной дозы (рис. 1, в) достигает отметки 17, соответствующей остаточной тарной массе. Уровень также контролируется при измерении результирующей массы вертикального цилиндрического элемента.

Подобная работа с неполной выгрузкой материала из дозатора позволяет игнорировать возможное налипание остатков битума на стенки приемной емкости, что также повышает точность процесса и снижает динамические погрешности дозирования. Однако при изменении плотности битума, влияющей на его кинематическую вязкость (при уменьшении плотности текучесть

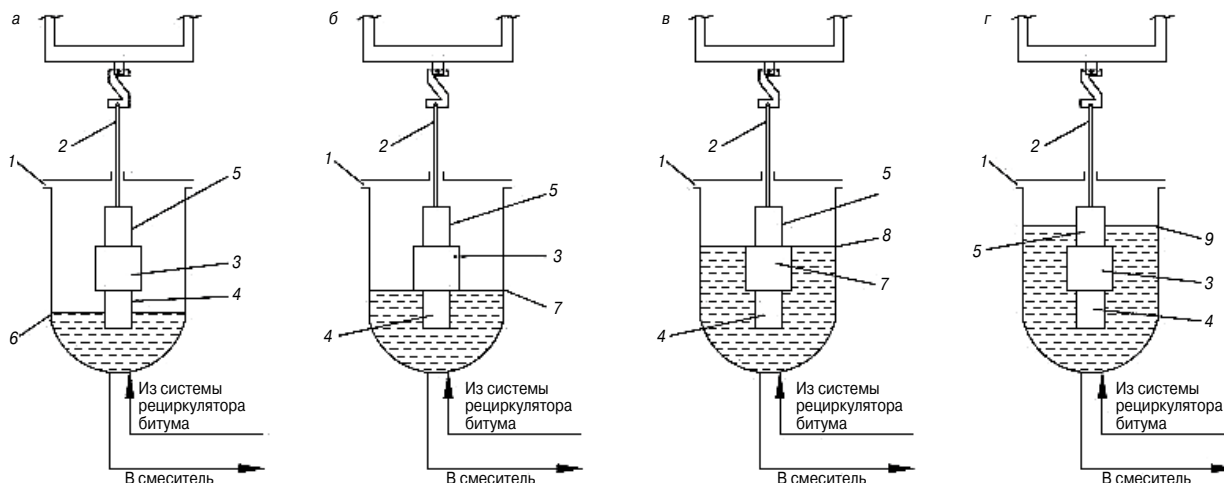


Рис. 2. Модернизированный дозатор битума с расширенными функциональными возможностями: 1 – дозатор битума; 2 – вертикальный цилиндрический элемент; 3 – соосный цилиндрический участок большего диаметра; 4 – нижний участок вертикального цилиндрического элемента; 5 – верхний участок вертикального цилиндрического элемента; 6 – уровень битума, соответствующий остаточному тарному весу; 7 – нижний уровень соосного цилиндрического элемента; 8 – верхний уровень соосного цилиндрического элемента; 9 – верхний уровень заполнения дозатора; а, б, в, г – дозатор, заполненный битумом до разного уровня (описание в тексте)

битума уменьшается и наоборот), фиксирование заданной остаточной тарной массы в дозаторе может происходить нестабильно из-за соответствующих колебаний производительности шестеренчатого насоса.

Дополнительное повышение точности дозирования с помощью измерительной системы, работающей по принципу масштабирования массы битума, вытесненной вертикальным цилиндрическим элементом, достигается за счет усовершенствования формы этого элемента и реализации алгоритма измерения плотности горячего битума непосредственно внутри приемной емкости в каждом цикле приготовления асфальтобетонной смеси. Причем необходимое вычисление плотности битума в усовершенствованном устройстве, предложенном автором статьи, может вычисляться автоматически и не требует применения специальных дорогостоящих плотномеров.

В отличие от конструкции устройства, изображенного на рис. 1, усовершенствованный дозатор битума (рис. 2, а) с расширенной функциональной возможностью содержит вертикальный цилиндрический элемент переменного сечения, у которого средняя часть выполнена в форме соосного цилиндрического участка большего диаметра, а низ находится выше минимального уровня остаточной порции битума, а верх располагается ниже максимальной отметки заполнения приемной емкости дозатора.

Принцип работы модернизированного дозатора, основанный на дополнительном определении плотности битума в процессе измерения и масштабирования его массы, заключается в следующем. Одновременно с формированием команды на включение электромагнитного клапана подачи битума в приемную емкость дозатора в блоке контроля и управления (на рис. не показан) поочередно измеряется скорость изменения массы битума, вытесненной нижним, средним и верхним участками вертикального цилиндрического элемента. Поскольку диаметр соосного цилиндрического участка, расположенного в средней части этого элемента, в 1,5–2 раза больше диаметра нижнего и верхнего участков, то и соответствующие скорости изменения контролируемой массы меняются при возрастании уровня битума в дозаторе.

Сначала скорость изменения массы битума, вытесненного нижним участком в интервале времени $t_0 - t_1$ (t_0 – начало заполнения дозатора битумом от уровня 6, соответствующего остаточной тарной массе; t_1 – момент достижения битумом нижнего уровня 7 (рис. 2, б) соосного цилиндрического участка), характеризуется углом

наклона α_1 на графике (рис. 3), а сама масса за этот период увеличивается от значения P_{6_0} (остаточная тарная масса) до значения P_{6_1} . В следующем интервале времени $t_1 - t_2$ (t_2 – момент достижения битумом верхнего уровня 8 (рис. 2, в) соосного цилиндрического участка) масса вытесненного битума нарастает с большей скоростью, ей соответствует угол наклона α_2 на том же графике, и достигает значения P_{6_2} . Такое нарастание скорости связано с тем, что при одинаковой единичной высоте единичный объем соосного цилиндрического участка в 2,5–4 раза больше единичного объема нижнего участка.

Последующее за нарастанием уменьшение этого параметра в период времени $t_2 - t_3$ (t_3 – момент окончания набора заданной дозы P_{6_3}), характеризуется углом наклона α_3 на графике изменения массы битума, вытесненной вертикальным цилиндрическим элементом, также обусловлено разным сечением участков и всего цилиндрического элемента.

Значения массы битума P_{6_1} и P_{6_2} в моменты времени t_1 и t_2 , когда меняется скорость нарастания массы вытесненного материала, фиксируются в блоке контроля

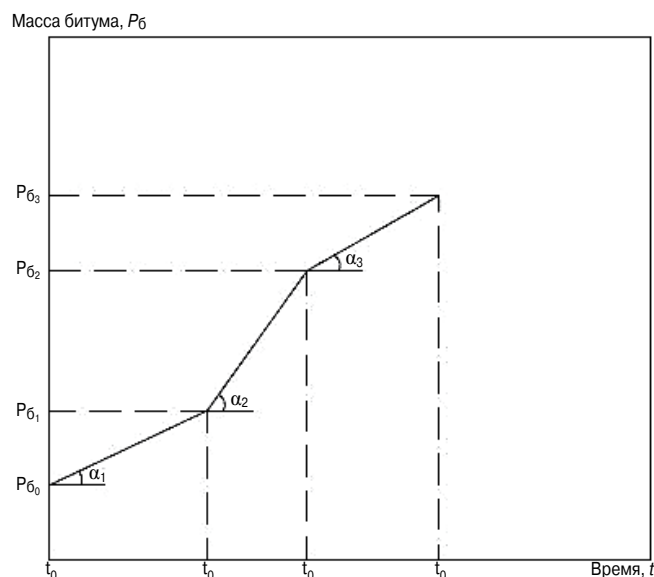


Рис. 3. Зависимость изменения массы битума, вытесненной вертикальным цилиндрическим элементом переменного сечения в процессе заполнения дозатора

и управления и используются для дальнейшего вычисления плотности дозируемого битума. Плотность ρ при этом определяется как частное от деления массы битума $P_{\text{сц}} = P_{\delta_2} - P_{\delta_1}$ ($P_{\text{сц}}$ — масса битума, вытесненного цилиндрическим участком) на ее объем $V_{\text{сц}}$, который для этой конструкции известен и не меняется:

$$\rho = (P_{\delta_2} - P_{\delta_1}) / (V_{\text{сц}}).$$

Определение плотности битума с помощью данного арифметического расчета, выполняемого микропроцессорным блоком управления в каждом цикле приготовления асфальтобетонной смеси, позволяет косвенно учитывать колебания кинематической вязкости дозируемого материала. Если в конце технологической операции заполнения дозатора битумом до уровня 9 (рис. 2, з) выявилось, что измеренная плотность материала возросла (это равносильно снижению кинематической вязкости и повышению текучести битума), необходимо в процессе разгрузки дозатора раньше отключать перекачивающий насос, т. е. увеличивать время упреждения для соответствующей команды управления. Это связано с тем, что скорость массопереноса менее вязкой жидкости возрастает при ее перекачивании насосом. В случае же, когда дозируемый битум становится более вязким и

по этой причине снижается производительность насоса, время упреждения на отключение команды «разгрузка дозатора» автоматически уменьшается.

Все это позволяет не допускать переразгрузки или недоразгрузки дозирующего устройства, а также исключать переполнение его приемной емкости в процессе загрузки. Дополнительно измеренная величина плотности битума при этом может использоваться и для коррекции уставок в контур автоматического регулирования температуры битума, так как снижение плотности дозируемого расплава косвенно указывает на возможное ухудшение теплоизоляции приемной емкости и битумопроводов. Особенно важен подобный учет плотности битума в каждом цикле приготовления асфальтобетонной смеси при его дозировании с часто меняющимися характеристиками (марка битума, плотность и др.).

Изготовление подобных схем и устройств для измерения массы дозируемого битума, а также широкая номенклатура выпускаемого в ЗАО «Стромизмеритель» различного технологического оборудования и автоматизированных систем управления [1, 2] для производства строительных материалов позволяют специалистам нижегородской фирмы в комплексе решать вопросы реконструкции и модернизации действующих асфальтобетонных заводов.

Список литературы

1. Ефременков В.В., Кондратьев Д.Г., Ручкин В.В. Разработка технологического оборудования для производства строительных материалов // *Строительные материалы*. 2009. № 5. С. 87–89.
2. Ефременков В.В., Бабанин В.А. ЗАО «Стромизмеритель» — комплексный подход к проектированию, реконструкции и строительству предприятий по производству строительных материалов // *Строительные материалы*. 2014. № 6. С. 12–14.

References

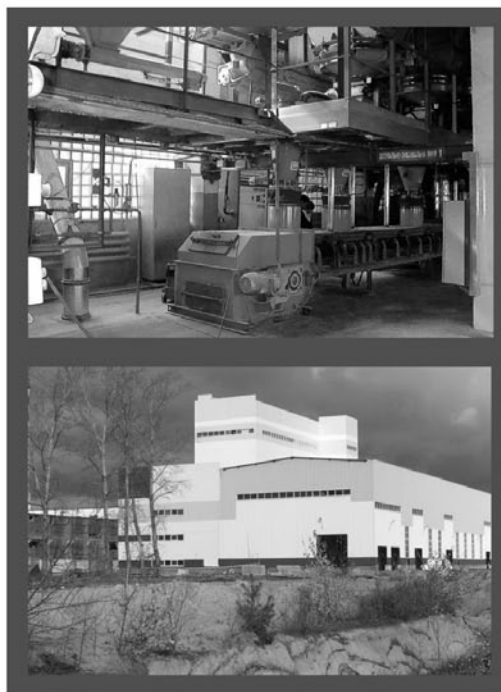
1. Efremenkov V.V., Kondratiev D.G., Ruchkin V.V. Development and making of technological equipment for production of building materials. *Stroitel'nyye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 5, pp. 87–89. (In Russian).
2. Efremenkov V.V., Babanin V.A. ZAO «Stromizmeritel» — a complex approach to designing, reconstruction and construction of building materials enterprises. *Stroitel'nyye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 8–89. (In Russian).



ЗАО «СТРОМИЗМЕРИТЕЛЬ»

предлагает

- Техничко-исследования промышленных объектов.
- Проектирование современных составных цехов с вертикальной, вертикально-горизонтальной компоновкой оборудования.
- Изготовление весодозирующего оборудования для сыпучих, комкующихся, гигроскопичных, вязких материалов и различных жидкостей.
- Разработка и изготовление нестандартного оборудования (переключатели потоков сырья, виброднища, вибропитатели, установки затаривания и растаривания биг-бэгов и многое другое).
- Разработка и изготовление ленточных конвейеров и элеваторов.
- Комплексная поставка технологического оборудования составного цеха.
- Разработка программного обеспечения.
- Разработка и изготовление автоматизированных систем управления и различных средств автоматизации.
- Шеф-монтаж и монтаж оборудования.
- Пусконаладочные работы, ввод объекта в эксплуатацию и обучение персонала.
- Сервисное гарантийное и постгарантийное обслуживание.
- Поставка запчастей.
- Модернизация оборудования.



наш адрес: 603116, Россия, г. Нижний Новгород,
ул. Гордеевская, д. 59-Е; тел./ФАКС (8312)43-12-28,
43-15-82, 77-20-90, 77-20-60, 77-20-88.
E-MAIL: stromizmeritel@rambler.ru
www.stromi-nn.ru

Реклама

А.А. КЕТОВ¹, д-р техн. наук (alexander_ketov@mail.ru); А.В. ТОЛМАЧЕВ², канд. техн. наук

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614000, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29)

² ООО «ТеплоСтек» (115230, г. Москва, Варшавское ш., 46)

Пеностекло – технологические реалии и рынок

Рассматриваются вопросы развития технологии пеностекла. Показано, что разрыв между научными разработками и практикой производства пеностекла как строительного материала носит принципиальный характер, не позволяющий в обозримом будущем надеяться на создание экономически эффективного производства, а также организации предприятий по выпуску материала, конкурентоспособного в области промышленного и гражданского строительства. Обоснована рыночная неконкурентоспособность пеностекла, производимого по классической порошковой технологии из специального стекла. Приведены предположения о технических решениях и направлениях развития технологии, которые позволят сделать материал востребованным на рынке строительных материалов.

Ключевые слова: пеностекло, технология, рыночная конкурентоспособность.

A.A. KETOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (alexander_ketov@mail.ru); A.V. TOLMACHEV², Candidate of Sciences (Engineering)

¹ Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomol'skii Avenue, Perm, 614990, Russian Federation)

² ООО "ТеплоСтек" (46, Varshavskoe Highway, Moscow, 115230, Russian Federation)

Foamed Glass: Technological Realities and the Market

The development of foamed glass technology is discussed in the article. It is shown that the gap between scientific developments and the practice of foamed glass manufacture, as a building material, has the principal character that does not allow, in the foreseeable future, to hope for the development of foamed glass manufacture technologies as well as organization of enterprises which are able to produce the competitive material in the field of industrial and civil construction. The market non-competitiveness of foamed glass produced according to the classical powder technology from the special glass is substantiated. Assumptions about technical solutions and technology trends that will make it possible to produce the material in demand at the building materials market are made.

Keywords: foamed glass, technology, market competitiveness.

Прошло уже более семи лет с тех пор как один из авторов этой статьи оценил перспективы технологии пеностекла [1]. Некоторые прогнозы в оценке направлений технологии сбылись, например, по вовлечению в сырьевую базу несортного стекла и горных пород. Но в области практической реализации проектов дела обстоят не просто плохо, ситуация сложилась катастрофическая. Причина этого явления, состоящая в отсутствии реального перехода между наукой и практикой, привела к неожиданному, но прогнозируемому еще в 2007 г. результату: пеностекло, по крайней мере в варианте классической порошковой технологии, никогда не станет общеупотребительным строительным материалом в России. В этой статье подведем некоторые итоги громких заявлений о создании технологий пеностекла, попытаемся понять, почему в реальности пеностекло не стало не только востребованным материалом, но и вообще практически не производится в России, и сделаем предположения о возможных выходах из создавшейся ситуации.

Со времени закрытия трех из четырех производств пеностекла, которые были описаны Б.К. Демидовичем в 90-е гг. XX в., материал в объемах более 5000 т в год реально производился только ЗАО «Пеноситал» (Пермь) и в настоящее время, вероятно, будет выпускаться ЗАО «Компания «СТЭС-Владимир» (Владимир). Пеностекло на основе жидкого стекла как не обладающего характеристикой водостойкости, в данной статье рассматриваться не будет. Также в стороне останутся вопросы производств в городах Шостка (Украина) и Гомеле (Белоруссия), потому что основная задача публикации – понять, почему за все эти годы технология пеностекла не возродилась именно в России.

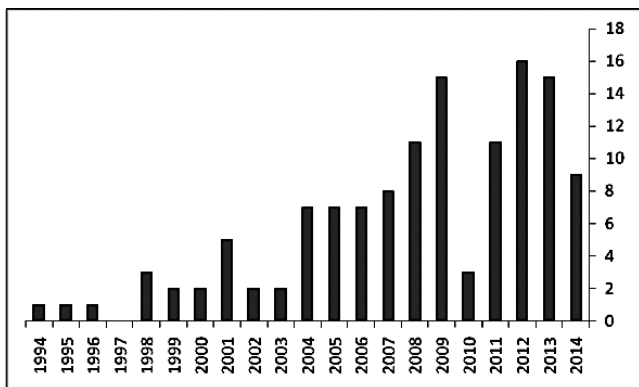
Для развития технологии пеностекла в теоретическом плане во второй половине XX в. сложились хорошие условия. Помимо четырех действовавших производств в СССР существовала передовая на тот период времени школа специалистов, многие наработки которой нашли свое отражение в монографиях Б.К. Демидовича [2, 3]. При этом процесс создания нового произ-

водства проходил три последовательные стадии: научная разработка технологии; апробация процесса на опытно-промышленном уровне, призванном уточнить материально-энергетические потоки и выявить узкие места технологической схемы; проектирование и строительство промышленного производства. Если исследование на первом этапе проводилось в системе Академии наук или вузах, то вторая стадия всесторонне отрабатывалась в отраслевых институтах. Только на третьем этапе исходные данные к проектированию передавались в проектные институты соответствующего министерства, которое при обязательной поддержке отраслевого института проектировало и запускало реальное производство.

Примерно так выглядела и схема создания производства пеностекла. Академик И.И. Китайгородский еще в 30-е гг. заложил научные основы производства пеностекла, получил первые образцы, а в 50–60-е гг. Минский научно-исследовательский институт строительных материалов под руководством профессора Б.К. Демидовича всесторонне исследовал технологические аспекты и курировал строительство и работу всех четырех заводов производства пеностекла. Плоха или хороша была такая схема, но она работала и начиналась с яркой идеи, которая пройдя сложный путь, реализовывалась в практике производства.

Остановка всех трех российских заводов пеностекла была обусловлена высокими производственными затратами и устаревшей схемой производства. Основой возрождения технологии могла бы стать научная идея, способная снизить производственные затраты и упростить технологические процессы. Поэтому посмотрим, какие научные идеи были выдвинуты на рубеже веков и могли быть положены в основу возрождения технологии пеностекла даже безотносительно к механизму реализации в промышленных масштабах.

При рассмотрении *состояния научных работ* за последние полтора десятилетия первое, что бросается в глаза – отсутствие централизации, что само по себе не является отрицательной стороной развития науки. В об-



Количество публикаций по годам патентов C03C11/00 класса МПК по состоянию на ноябрь 2014 г.

шем случае децентрализация тематик порождает конкуренцию более плодотворных направлений и в результате новая технология получается более эффективной. К сожалению, в наших условиях децентрализация привела к противоположным результатам.

В области поиска технических решений, находящихся отражение в патентах, наблюдается ежегодный рост числа решений. На рисунке показано количество патентов, зарегистрированных в России только по одному классу C03C11/00 МПК, непосредственно указывающих на способы синтеза пеностеклянных материалов. Надо иметь в виду, что реальное количество патентов по данной теме как минимум в 2–2,5 раза больше, так как часть патентов проходит по другим классам. Очевидно, что количество только зарегистрированных решений стремительно растет даже с учетом провала 2010 г., связанного, вероятно, с кризисом 2008–2009 гг.

При этом количество научных статей в журналах материаловедческого направления вообще не поддается учету. Например, в журнале «Строительные материалы» только за десять месяцев 2014 г. опубликовано как минимум пять статей, прямо или косвенно относящихся к обсуждаемой достаточно узкой теме ячеистых силикатных материалов, получаемых пиропластичным методом.

При изучении публикаций создается впечатление, что авторы вообще никогда не работали с реальными объектами. Подтверждением этого является проект так называемого «вакуумного пеностекла», победивший на конкурсе бизнес-проектов БИТ-2008 и описанный в патенте [4]. Ниже приведена цитата из текста.

«Изобретение относится к способу изготовления теплоизоляционных, пенистых материалов. Технический результат изобретения заключается в изготовлении пеностекла с сохраняющимися много лет низкими значениями теплопроводности, звукопроницаемости и хорошим светопропусканием. Куски стекла расплавляют, расплав дегазируют выдержкой его при температуре 1450°C в течение 10–60 мин и остужают его до 950–1200°C. Через расплав стекла пропускают перегретый водяной пар, полученный из дегазированной воды для выдувания множества пузырей различного диаметра из расплавленного стекла. Стекланные пузыри срезают в форму с образованием блоков, отжигают при температуре 450–600°C и охлаждают».

Сложно оценить, чего в этом тексте больше — технической неграмотности или наивности, но вне зависимости от предпосылок авторы претендовали на получение финансирования на заведомо технически неосуществимый проект.

Любой инженер, побывавший на производстве тарного или листового стекла понимает:

- стекло в порошке или пронизанное ячейками не прозрачно;
- при 950–1200°C пена в стекле неустойчива;

- при 950–1200°C не найти устойчивого материала для подачи пара через фильтры для выдувания пузырей;
- даже если предположить, что пузыри выдули, срезать пену технически невозможно вследствие той же материаловедческой проблемы;
- пена является теплоизолятором и остужать ее будет технически сложно;
- стекло обладает термопластичностью как минимум до 700°C, поэтому объем пара при таком охлаждении и постоянном давлении уменьшится после выдувания пузырей в полтора раза.

Это только самые явные технические проблемы, которые лежат на поверхности. Такое подробное рассмотрение этого бесперспективного решения обусловлено тем, что оно как нельзя лучше характеризует даже не столько уровень представляемых на конкурсы проектов, сколько степень технической компетентности экспертов. На этом примере становится очевидным не только непонимание в настоящее время необходимости и смысла этапа опытно-конструкторских работ, но и отсутствие механизмов, позволяющих выбирать технически перспективные идеи и шаг за шагом доводить их до реального воплощения.

Недостаток технически грамотных решений проследживается во многих проектах, причем чем меньше реального обоснования предлагаемых решений, тем агрессивнее выступают авторы. Например, в статье (О. Ашкина, П. Степаненко. «Стекло и пена». The Chemical Journal. 2010. № 1–2. С. 47–49) большая часть текста посвящена критике использования стеклобоя в качестве сырья вообще и производству пеностекла ЗАО «Пеноситал» в частности. Серьезным обвинением, по мнению авторов, является высокое удельное энергопотребление существующей технологической схемы: «Затраты на производство 1 м³ гранулированного пеностекла составляют примерно 200–250 кВт·ч, блочного — 500–600 кВт·ч». Ниже будут приведены расчеты, подтверждающие правильность этих показателей, однако в статье обнаруживается, что авторы предлагают новый материал, схожий по свойствам с пеностеклом, но «...расход электроэнергии на производство 1 м³ материала «Кремень» плотностью от 150 до 400 кг/м³ составляет всего 3–11 кВт·ч в зависимости от мощности производства, что наряду с неограниченным доступом к сырью, по предварительным подсчетам, снижает себестоимость производства кубического метра стройматериала в три раза».

К сожалению, в статье даже примерно не указано, как можно при таких энергозатратах получить материал. Вышеупомянутый порядок удельного энергопотребления на реальных производствах пеностекла занимает всего лишь механическое перемещение материалов, без учета сушки или термообработки. Вероятно, предполагается получение ячеистого материала из диатомита, потому что в тексте упоминаются диатомиты Камышловского месторождения Свердловской области. Вопросы энергетики процесса получения ячеистых материалов на основе трепела и диатомита будут рассмотрены ниже, здесь же можно только отметить, что реальные технологические схемы авторами вышеупомянутой статьи не представлены, тем более что помимо шумных обещаний от научного прорыва следов не обнаружено.

Другим характерным явлением в области науки о пеностекле стали сообщения о том, что разрабатывается технология пеностекла, а под видом этого выдается набор данных, не имеющих отношения к вопросу. Примером такого рода может служить статья [5]. При ее прочтении создается впечатление, что авторы перепутали объект исследования и собирались делать не пеностекло, а термитную смесь или ракетное топливо, пото-

му что основной задачей ставится не формирование материала, а выделение необходимой «теплоты на вспенивание». Предположение о возможности окисления углерода за счет кислорода воздуха, т. е. игнорирование представлений о диффузии вообще, вызывает недоумение. Элементарный расчет показывает, что если ставить задачу получения именно пеностекла, а не топлива для котельной, то количество газов, необходимых для вспенивания композиции, составляет доли массового процента и совсем не обязательно проводить полноценный окислительно-восстановительный процесс внутри композиции, чтобы еще избавиться от внешнего нагрева.

Проведенный далеко не полный обзор инновационных предложений в области технологии пеностекла позволяет сделать однозначный вывод о бесконечной удаленности многих авторов научных работ от реального понимания технологии материала с проблемами не только технологическими, но и маркетинговыми. Поэтому неудивительно, что с реализацией научных разработок на практике дела обстоят весьма прискорбно. Можно возразить, что имевшийся значительный задел в технологии пеностекла, полученный еще во времена СССР, может позволить создать производство. Это допустимо. Действительно, знакомство с большинством проектов создания производства пеностекла позволило обнаружить отсутствие у организаторов даже малейших представлений о научной проработке вопроса и ориентации в понимании технологии исключительно на наработки, описанные еще в монографиях Б.К. Демидовича.

Несмотря на этот факт, логично было бы предположить, что при огромном количестве заявляемых проектов, количество, хотя бы в одном случае, должно перейти в качество и реализация части проектов на практике даст ощутимый выход готового продукта на рынок. Вероятно, примерно так и рассуждали маркетинговые аналитики Research Techart, подготовившие обширный обзор «Маркетинговое исследование рынка пеностекла» в октябре 2008 г. Авторы обзора утверждали, что объем рынка пеностекла в России в 2007 г. составлял 66725 м³, прогноз на 2008 г. составлял 102000 м³. Следует предположить, что авторы анализировали данные по импорту продукции, возможно, с учетом небольшого вклада действовавшего на тот момент производства ЗАО «Пеноситал».

И в настоящее время можно безуспешно искать на рынке хотя бы кубометр российского плитного пеностекла. Помимо недавно запущенного производства компании «СТЭС-Владимир» реальные производства отсутствуют.

Рассмотрим один пример рождения и заката такого промышленного проекта. Этот случай выделяется среди многих других категоричностью заявленных претензий – было дано «Публичное обещание» (<http://pressagenda.com/krasnoyarsk/prromise/184>). Вот ключевые положения обещания: «К 31 мая 2012 г. запустить завод «Октава-2003» по производству пеностекла по проекту инновационного метода утилизации отходов».

Весной 2012 г. в Красноярске планируется запустить завод по производству пеностекла. На этом предприятии «Октава-2003» реализуется проект инновационного метода утилизации отходов, профинансированный Краевым фондом науки на 1 млн р.

По мнению директора предприятия... производимое в крае пеностекло лучше по качеству китайских и белорусских аналогов. Кроме того, будущей продукцией завода заинтересовались в компании «Газпром». (Конец цитаты.)

С момента обещанного пуска завода прошло уже более двух лет, но попытки отыскать любые сведения о

производимом материале обречены на неудачу по простой причине – предприятия не существует, как не существует и выпускаемого пеностекла не лучше и не хуже китайских и белорусских аналогов. И таких примеров десятки.

При умозрительно-теоретической красоте проектов на практике оказалось, что ни одно производство так и не было запущено в полном объеме, а предприятия, освоившие в той или иной степени технологию, не имеют стабильного сбыта продукта в строительной отрасли.

Отдельно стоит остановиться на двух крупных проектах, которые вышли на реальное производство. Это производство пеностеклянного щебня компании «АйСиЭм Гласс Калуга», реализованное при поддержке Роснано, и компания «СТЭС-Владимир».

Проект Роснано, начатый с ЗАО «Пеноситал» еще в 2009 г. и анонсированный как производство пеностеклянных плит, в конечном виде был преобразован в производство пеностеклянного щебня с компанией «АйСиЭм Гласс Калуга». Производство запущено в декабре 2013 г. Однако пеностеклянный щебень имеет ограниченное применение в гражданском и промышленном строительстве, особенно в стеновых конструкциях, и по своим свойствам подходит преимущественно для дорожного строительства и утепления фундаментов. Поэтому в данной статье рассматривать его не будем.

Единственным предприятием в настоящее время, официально объявившим об открытии производства плитного пеностекла, является компания «СТЭС-Владимир» (<http://www.a-stess.com/about/news/vovladimire-otkryt-zavod-po-promyshlennomu-proizvodstvu-penostekla.html>). Под торговой маркой «НЕОПОРМ» выпускаются блоки и плиты для утепления фундаментов, стен и кровель зданий, а также теплоизоляционные изделия сложной геометрической формы для тепловой защиты трубопроводов и технологического оборудования. Официально заявлено, что стоимость производства составила порядка 5,5 млрд р.

Однако можно предположить, что именно планам по использованию пеностекла в массовом строительстве вряд ли суждено сбыться, и дело тут касается не замечательных свойств материала, а маркетинговых проблем. Но сначала рассмотрим этот вопрос на примере более простого в технологическом и маркетинговом смысле гранулированного пеностекла.

В настоящее время пеностеклянный гравий «Пеностек», «Баугран», Saitax и «Пенокам» выпускается в незначительных объемах, но в последнее время у некоторых фирм наблюдаются определенные трудности со сбытом.

Причин столь тяжелого положения в производстве и сбыте пеностеклянных материалов в строительстве как минимум две. Первая – несовершенство технологии, которое обуславливает высокую себестоимость материала. Вторая – неконкурентность пеностеклянных материалов в сравнении с аналогами при объективно существующих ценах. Рассмотрим эти вопросы подробнее сначала на примере гранулированного пеностекла, технология которого, как и плитного, была достаточно подробно описана еще Б.К. Демидовичем и практически в неизменном виде используется производителями этого материала.

Оценим ориентировочно себестоимость гранулированного пеностекла в ценах ноября 2014 г. Материал в отличие от плитного пеностекла может быть получен из несортного стеклобоя с добавлением жидкого стекла. Соответственно газообразование в этом случае происходит по гидратному, а не по сульфатному механизму [6]. Допустим, что несортной стеклобой стоит в среднем 4500 р/т. Не менее 700 р/т необходимо затра-

тить на помол материала до требуемой тонины порошка стекла дисперсностью менее 80–100 мкм. Дополнительно на 1 т стекла потребуется 80–100 л жидкого стекла при стандартном силикатном модуле 2–3 и плотности 1380–1440 кг/м³. Средняя цена на жидкое стекло составляет 12–15 тыс. р/т. При содержании в растворе твердого вещества 38–44 мас. % в растворе получается, что на ~1050 кг готового продукта (1 т исходного стекла) затраты только на стекло и жидкое стекло составят примерно 6840 р. Для процесса необходимо применять не менее 0,5 мас. % углеродсодержащего газообразователя, в качестве которого во многих случаях используется глицерин. Значит, на 1 т исходного стекла надо ~5 кг глицерина, что увеличит стоимость сырья еще минимум на 300 р. Стоимость воды для успешного гранулирования учитывать не будем. Получается, что только на сырье для получения 1050 кг готового продукта надо затратить не менее 7140 р.

Примем, что насыпная плотность готового гранулированного пеностекла составляет 200 кг/м³. Поэтому составляющая сырья в себестоимости 1 м³ готового пеностекла будет 1428 р/м³.

При расчете затрат на энергопотребление исходим из того, что для получения 1 м³ насыпного гранулированного пеностекла надо нагреть до 750–820°C не менее 240 кг сырцовых гранул, содержащих 20 мас. % воды, т. е. 40 кг. Пусть вся вода, включая кристаллизационную и химически связанную, ведет себя теплотехнически, как физически свободная вода. Также предположим независимость теплоемкости от температуры; пренебрегая теплотами реакций пиролиза и окисления, можно считать энергопотребление процесса. Принимаем среднюю теплоемкость стекла 0,85 кДж/(кг·°C); воды – 4,19 кДж/(кг·°C); водяного пара – 2,02 кДж/(кг·°C) и удельную теплоту парообразования – 2260 кДж/кг. Тогда энергопотребление для термообработки 1 м³ насыпного пеностекла составит примерно 290 МДж, или 81 кВт·ч. Допустим, коэффициент полезного действия печи составляет 80%, тогда энергопотребление на производстве составит 101 кВт·ч/м³. Учитывая, что обычно используют для термообработки сырья электрические печи и цена электроэнергии составляет в среднем 5 р/(кВт·ч), получаем затраты на энергопотребление 505 р/м³. Добавим затраты на зарплату и обслуживание оборудования. Разумеется, эта величина зависит от уровня автоматизации и мощности производства, но, принимая среднюю производительность существующих печей, круглосуточную работу и учитывая налоги, можно весьма грубо оценить трудозатраты в 300–400 р/м³.

Принимая минимальные значения всех составляющих, получаем себестоимость насыпного гранулированного пеностекла не менее 2300 р/м³. Поэтому на практике гранулированное пеностекло в настоящее время можно приобрести по ценам от 5,5 тыс. р/м³ (крупная фракция и крупный опт).

Теперь сравним эту цену с предложениями аналогов. До недавнего времени керамзитовый гравий не мог конкурировать с гранулированным пеностеклом по теплофизическим характеристикам. Это было обусловлено относительно высокой плотностью выпускаемого материала, которая редко опускалась ниже 600–700 кг/м³, соответственно сравнительно высоким был и коэффициент теплопроводности. Однако в последние годы ситуация резко изменилась в связи с вводом в строй модернизированных производств. В настоящее время массово выпускается керамзитовый гравий с насыпной плотностью 250 кг/м³ и соответствующим коэффициентом теплопроводности 0,05–0,06 Вт/(м·К) и прочностью при сжатии 0,6–0,7 МПа, что не просто приблизилось, а практически совпало с показателями насыпного пеностекла. При этом цена материала на заводе (с НДС)

начинается с 1300–1400 р/м³. Получается, что отпускная цена керамзитового гравия, аналогичного по теплофизическим характеристикам гранулированному пеностеклу, более чем в полтора раза ниже себестоимости гранулированного пеностекла. Именно себестоимости, а не цены, потому что цена пеностекла оказывается в разы выше, чем у аналога.

Очевидно, что при таком раскладе гранулированное пеностекло не просто не востребовано, а обречено на вымирание на строительном рынке. Здесь умышленно не рассматриваются вопросы производства мелкогранулированного пеностекла, которое имеет иные характеристики и может использоваться в иных сегментах рынка. Возвращаясь к вопросу гранулированного пеностекла фракций более 2–5 мм, можно однозначно заключить, что на сегодняшний день широкие перспективы у материала в строительстве отсутствуют.

Сторонники **производства ячеистых материалов на основе трепела** (диатомита) могут возразить. Технология действительно вполне осуществима, но себестоимость продукта опять же оставляет желать лучшего. Не будем рассматривать технологический вариант варки промежуточного стекла из трепела, потому что в этом случае технология фактически ничем не отличается от классического варианта производства гранулированного пеностекла. Рассмотрим вариант с прямым синтезом гранулированного пеностекла (пеностеклокристаллического материала) из диатомита и гидроксида натрия.

В рассматриваемом случае необходимо приготовить сырцовые гранулы из диатомита и гидроксида натрия. Наивное желание осуществлять совместный помол этих материалов привело уже к разорению нескольких проектов, поэтому технологически приемлемым вариантом является смешение сухого диатомита и раствора гидроксида натрия. Необходимо подчеркнуть, что диатомит должен быть сухим во избежание блокирования раствора гидроксида натрия на поверхности гранулы при пропитке. Это значит, что при сушке диатомита, имеющего стандартную карьерную влажность 38–43 мас. %, для получения 1 т сухого диатомита в барабанной сушилке при температуре 300°C потребуется ~2,3 МДж, или 630 кВт·ч энергии, что при 80% КПД печи составляет 2,8 МДж, или 790 кВт·ч.

Попытки сэкономить на сушке диатомита с использованием процесса в потоке пламени уже привели в одном из проектов к получению сухого диатомита с невысокой активностью вследствие перегрева материала, а снижение температуры сушки ниже 300°C ведет к невысокой скорости процесса.

После получения сухого диатомита необходимо подготовить сырец, для чего диатомит пропитывается раствором каустика, т. е. опять вводится до 40 мас. % воды и снова высушивается. Причем желательно не сразу же прокаливать композицию при 780–850°C, чтобы провести стеклование и вспенивание продукта, а промежуточно удалить часть воды и получить промежуточные гранулы. При такой двухступенчатой схеме появляются лишние энергозатраты на дополнительный нагрев сырья, но получается существенный выигрш в качестве конечного продукта и логистике.

Поэтому будем считать, что для получения сырцовых гранул добавляют раствор каустика с целью получения приемлемого силикатного модуля конечного продукта. Это составляет 180–250 кг в пересчете на сухой гидроксид натрия на 1 т сухого диатомита. Полученные гранулы высушивают до остаточного общего содержания воды 8–10 мас. % и далее их нагревают во вращающейся печи для получения конечного продукта.

В описываемой схеме сушка и прокаливание гранул потребуют суммарно еще примерно 156 кВт·ч энергоза-

трат на 1 м^3 готового продукта при расчетной насыпной плотности 200 кг/м^3 , что при 80% КПД печей даст почти 200 кВт·ч. Если снова предположить, что используются электрические печи и цена электроэнергии составляет в среднем 5 р/(кВт·ч), то затраты на энергопотребление составят 1000 р/м^3 , что существенно выше, чем для гранулированного пеностекла по варианту применения стекла в качестве сырья.

Доля сырья в себестоимости готового продукта также легко рассчитывается. При цене трепела в пересчете на сухой материал 600 р/т, что приемлемо только для создания производства непосредственно на карьере, и цену (самую низкую в пересчете на сухой) на каустик в растворе 17–19 р/т, получается 730 кг/м^3 .

Таким образом, незначительный выигрыш в затратах на сырье, причем только непосредственного на карьере, с лихвой перекрывается энергозатратами. Поэтому предполагать более низкую себестоимость пеностекла, полученного прямым синтезом из трепела и каустика, представляется некорректным.

Рассмотрим вопросы экономики производства плитного пеностекла. До сих пор основной и единственной технологией является порошоквый процесс, основанный на сульфатной технологии. В этом случае требуется специально сваренное стекло. Несортовой стекlobой не подходит в качестве сырья. Заявления о применении в качестве сырья несортового стекlobоя надо рассматривать только в плане использования последнего как одного из компонентов сырья для варки или подготовки специального стекла или шихты. Если в классическом варианте сульфатной технологии варится специальное стекло, то компания «СТЭС-Владимир» проводит передел порошкообразного стекlobоя с введением в него дополнительных газообразующих компонентов. Например, доступная информация о технологии этой компании приведена в патентах [8–12].

Во всех этих патентах подготовка порошоквой шихты для вспенивания осуществляется по аналогичной методике. В качестве первичного сырья используют стекlobой, который дробят до порошкообразного состояния; из полученного тонкомолотого порошка, углеродсодержащего газообразователя и водного щелочного раствора силиката натрия или калия при температуре не выше 70°C готовят смесь. Смесь термообработывают при температуре $450\text{--}550^\circ\text{C}$. Полученную сырьевую смесь охлаждают, дробят до порошкообразного состояния и этот порошок используют для получения пеностеклянных изделий, нагревая его при $750\text{--}830^\circ\text{C}$.

Фактически процесс газообразования происходит в этом случае по гидратному механизму, для которого характерно выделение воды из гидроксо-групп при температуре до 820°C .

Таким образом, существующие технологии получения плитного пеностекла предусматривают глубокие и технологически затратные переделы первичного стекlobоя для получения качественного сырья — это или варка сырьевого стекла по сульфатной технологии, или первичное спекание и дробление шихты по технологии «СТЭС-Владимир». Обсуждаются также решения по приготовлению сырцового стекла низкотемпературным синтезом [13]. Все эти технические решения объединяет необходимость термической обработки исходного силикатного сырья и последующий помол получаемого материала до высокодисперсного состояния, но технология собственно пеностекла при этом принципиально не меняется. Оценим ориентировочно затраты в этих случаях.

По сульфатной технологии необходима полная варка стекла с подшихтовкой необходимыми компонентами. В случае приобретения стекlobоя по 4500 р/т варка

и дополнительные реагенты поднимут цену тонны сырцового стекла до 7500 р/т. Затраты на помол составят 700 р/т, следовательно, минимальная цена сырцового стекла — 8200 р/т. Тогда при расчетной плотности пеностекла 200 кг/м^3 затраты на сырье составят не менее 1640 р/м^3 .

Если рассматривать передел сырья по варианту «СТЭС-Владимир», то использование раствора силиката натрия, нагрев первичной шихты до $450\text{--}550^\circ\text{C}$ и необходимость двукратного помола материала (первичного стекла и шихты) даже при ориентировочном расчете дают стоимость аналогичную и, возможно, превосходящую стоимость материала по сульфатной технологии.

Рассчитывая энергозатраты при производстве плитного пеностекла, следует учесть, что материал требует помимо вспенивания при $750\text{--}830^\circ\text{C}$ еще и обязательного отжига, что повышает энергозатраты еще в 1,5–1,7 раза. Дополнительные энергозатраты требуются на нагрев обязательных металлических форм, чего не было в производстве гранулированного пеностекла. Затраты, конечно, снижает использование газа в печи вспенивания, но обычно стоимость энергозатрат в производстве плитного пеностекла выше, чем для гранулированного, и не может быть ниже $600\text{--}700 \text{ р/м}^3$.

Процесс производства плитного пеностекла в отличие от гранулированного трудно поддается автоматизации, и ориентировочно трудозатраты можно принять в рамках $600\text{--}700 \text{ р/м}^3$. Получается, что себестоимость производства плитного пеностекла можно примерно оценить в $2800\text{--}3000 \text{ р/м}^3$. Следует учесть, что плитное пеностекло всегда вырезается из заготовок и в этом процессе в обрешетку попадает 10–15% объема. Поэтому заводскую себестоимость готового плитного пеностекла надо считать в пределах $3100\text{--}3300 \text{ р/м}^3$.

Допустим, что в производстве пеностекла заложена прибыль 20%, тогда цена материала на заводе будет не ниже 3840 р/м^3 . Разумеется, при отсутствии российского плитного пеностекла на рынке нельзя рассчитывать на альтруизм производителей, но можно принять полученную величину только для оценки рыночных перспектив материала. Особенно это очевидно при оценке уже упоминавшихся затрат компании, которые неизбежно лягут на стоимость готового продукта. Выше были упомянуты инвестиционные издержки создания производства плитного пеностекла на примере ЗАО «Компания СТЭС-Владимир», с учетом которых и разумной прибыли плитное пеностекло на рынке может появиться по цене ниже 10 тыс. р/м³.

Сравним пеностекло с конкурентными материалами для теплоизоляции стеновых конструкций. Примем для пеностекла плотностью 200 кг/м^3 коэффициент теплопроводности равным $0,06 \text{ Вт/(м·К)}$. Тогда для достижения термического сопротивления ограждающей конструкции в $3 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$, требуемого для энергоэффективных домов в средней полосе России, необходим слой пеностекла 18 см. В этом случае стоимость 1 м^2 плитного пеностекла, необходимого для достижения требуемой величины теплозащиты, в ограждающей конструкции составит 1800 р/м^2 .

Наиболее широко для теплоизоляции ограждающих конструкций в настоящее время используются минераловатные утеплители. Качественные минераловатные утеплители имеют цену 6–7 тыс. р/м³. Коэффициент теплопроводности материала $0,035\text{--}0,04 \text{ Вт/(м·К)}$, поэтому потребуется слой толщиной 11–12 см для достижения того же термического сопротивления $3 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$. В этом случае 1 м^2 теплоизоляции в ограждающей конструкции будет стоить всего 780–790 р, что в два с лишним раза ниже, чем аналогичный показатель для пеностекла.

В настоящее время не существует механизмов в строительстве, которые бы заставили применять более качественный и безопасный материал, поэтому представляется весьма неразумным рассчитывать в обозримом будущем на применение плитного пеностекла в жилищном и промышленном строительстве. Можно быть уверенным, что пеностекло, произведенное по сульфатной технологии из специально сваренного стекла, да еще и обладающее паронепроницаемостью, и черного цвета, обречено на постепенное отдаление от реальной практики строительства. Поэтому пеностекло не может конкурировать с традиционными теплоизоляционными материалами на строительном рынке и, вероятно, займет место в тех областях, где наиболее очевидны его преимущества и где у него фактически нет конкурентов, — для теплоизоляции теплоносителей с температурой 150–650°C и в агрессивных средах, преимущественно в химической, нефтехимической отраслях и энергетике.

Однако на основании проведенного анализа можно спрогнозировать потенциальные направления, в которые может сместиться технология материала и в каком виде модернизированный материал может быть востребован на рынке. Прежде всего в неизменном варианте использование плитного пеностекла как теплоизоляционного материала возможно при снижении его стоимости до величин, сопоставимых с аналогами, или, учитывая такие преимущества пеностекла, как пожарная безопасность и жесткость, до величин не более 30% от цены минераловатных плит. Т. е. плитное пеностекло может быть востребовано при стоимости 1 м² толщиной 18 см в пределах 1020–1030 р, что соответствует отпускной цене на заводе не выше 5700 р/м³. Но в нынешних условиях это неосуществимо. Решение может быть только при совмещении свойств теплоизоляции с другими — конструкционными или облицовочными. Имеется техническая возможность производства ячеистого материала, аналогичного пеностеклу, но белого или цветного, и применения его в качестве теплоизоляции, совмещенной с облицовкой. В этом случае при цене облицовочных материалов экономического класса 600–700 р/м² облицовочно-теплоизоляционная плита уже может быть конкурентной даже без учета экономии на выполнении работ.

Еще интереснее получается экономика при возможности изготовления штучных изделий типа кирпича из материала — аналога пеностекла, но окрашенного. Вопросы изготовления легкого пористого кирпича взамен пустотелого уже давно обсуждаются специалистами [14]. При средней цене облицовочного кирпича от 18 р/шт. 1 м³ стандартного облицовочного кирпича стоит 10 тыс. р/м³, а эта цена уже вполне сопоставима приведенными выше расчетными значениями для пеностекла.

Подводя итоги, можно заключить, что, по мнению авторов, схема развития технологий от научной разработки до практического воплощения в стране отсутствует и сложно ожидать появления новых технологических прорывов, в том числе и в области строительных материалов. Эпоху ажиотажного предложения инновационных технологий пеностекла можно считать подходящей к завершению вследствие дискредитации темы множеством неосуществленных проектов. Плитное и гранулированное пеностекло не выдерживает конкуренции в области гражданского строительства в силу неотъемлемых особенностей технологии, приводящих к сравнительно высокой себестоимости. Нельзя ожидать массового применения пеностекла, полученного по классической схеме, в промышленном и гражданском строительстве.

Возможными практическими направлениями, которые расширили бы применение пеностеклянного

щебня и гравия в массовом строительстве, могли стать снижение цен на сырье и удешевление кредитных ресурсов для любых промышленных проектов, в том числе и для проектов по производству пеностекла. В первом случае можно было бы ожидать прорыва при переходе на несортной стеклобой и введении утилизационного сбора, как это делается в странах Западной Европы и планируется в России. Эти мероприятия позволят сделать цены на гранулы и щебень хотя и по-прежнему в 1,5 раза более высокими по сравнению с керамзитом, но с учетом теплотехнических характеристик материалов реально конкурентными. Конечно, введением утилизационного сбора на стеклобой объемы ячеистых гранулированных материалов не получится восстановить до уровня 1990 г. (30 млн м³ в год), однако на объемы 10–15 млн м³ в год гранулированное пеностекло претендовать вполне может. Применяя пеностеклянные гранулы в композитных материалах в качестве легких компонентов, нужно очень внимательно отнестись к возможной щелочно-силикатной реакции пеностекла при взаимодействии со связующими на портландцементной основе.

Для выхода плитного пеностекла (или пеностеклокристаллического материала) в разряд общедоступных материалов необходимо существенно снизить себестоимость по путям, описанным выше, придать материалу новые потребительские свойства и выйти на возможность тиражирования технологии, которая удовлетворяла бы условиям низкой себестоимости.

Список литературы

1. Кетов А.А., Пузанов И.С., Саулин Д.В. Тенденции развития технологии пеностекла // *Строительные материалы*. 2007. № 9. С. 28–31.
2. Демидович Б.К. Пеностекло. Минск: Наука и техника, 1975. 248 с.
3. Демидович Б.К. Производство и применение пеностекла. Минск: Наука и техника, 1972. 301 с.
4. Патент РФ 2332364. Способ изготовления долговечного пеностекла / Климов А.А., Климов Д.А., Климов Е.А., Климова Т.В. Заявл. 17.01.2006. Опубл. 27.08.2008. Бюл. № 24.
5. Маневич В.Е., Субботин К.Ю. Закономерности формирования пеностекла // *Стекло и керамика*. 2008. № 5. С. 18–20.
6. 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.
7. Патент РФ 2255060. Способ получения пеностекла / Леонидов В.З., Дудко М.П., Зиновьев А.А. Заявл. 01.12.2003. Опубл. 27.06.2005. Бюл. 18.
8. Патент РФ 2272005. Способ получения калиброванного гранулированного пеностекла / Дудко М.П., Зиновьев А.А., Леонидов В.З. Заявл. 20.10.2004. Опубл. 20.03.2006. Бюл. 8.
9. Патент РФ 2255058. Способ получения шихты для производства пеностекла / Леонидов В.З., Дудко М.П., Зиновьев А.А. Заявл. 20.11.2003. Опубл. 27.06.2005. Бюл. 18.
10. Патент РФ 2255057. Способ получения сырьевой смеси для производства пеностекла / Леонидов В.З., Дудко М.П., Зиновьев А.А. Заявл. 20.11.2003. Опубл. 27.06.2005. Бюл. 18.
11. Патент РФ 2278846. Способ получения пористого наполнителя — калиброванного микрогранулированного пеностекла / Леонидов В.З., Дудко М.П., Зиновьев А.А. Заявл. 11.05.2005. Опубл. 27.06.2006. Бюл. 18.

12. Патент РФ 2255059. Способ получения пеностекла / Леонидов В.З., Дудко М.П., Зиновьев А.А. Заявл. 20.11.2003. Оpubл. 27.06.2005. Бюл. 18.
13. Казмина О.В., Верещагин В.И. Методологические принципы синтеза пеностеклокристаллических материалов по низкотемпературной технологии // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 41–45.
14. Шлегель И.Ф. Эффективен ли пустотелый кирпич? // *Строительные материалы*. 2007. № 6. С. 4–43.
8. Patent RF 2272005. *Sposob polucheniya kalibrovannogo granulirovannogo penostekla* [Way of receiving the calibrated granulated foamglass]. Dudko M.P., Zinov'ev A.A., Leonidov V.Z. Declared 20.10.2004. Published 20.03.2006. Bulletin No. 8. (In Russian).
9. Patent RF 2255058. *Sposob polucheniya shikhty dlya proizvodstva penostekla* [Way of receiving furnace charge for production of a foamglass]. Leonidov V.Z., Dudko M.P., Zinov'ev A.A. Declared 20.11.2003. Published 27.06.2005. Bulletin No. 18. (In Russian).
10. Patent RF 2255057. *Sposob polucheniya syr'evoi smesi dlya proizvodstva penostekla* [Way of receiving raw mix for production of a foamglass]. Leonidov V.Z., Dudko M.P., Zinov'ev A.A. Declared 20.11.2003. Published 27.06.2005. Bulletin 18. (In Russian).
11. Patent RF 2278846. *Sposob polucheniya poristogo napolnitelya – kalibrovannogo mikrogranulirovannogo penostekla* [Way of receiving a porous filler – the calibrated microgranulated foamglass]. Leonidov V.Z., Dudko M.P., Zinov'ev A.A. Declared 11.05.2005. Published 27.06.2006. Bulletin 18. (In Russian).
12. Patent RF 2255059. *Sposob polucheniya penostekla* [Way of receiving foamglass]. Leonidov V.Z., Dudko M.P., Zinov'ev A.A. Declared 20.11.2003. Published 27.06.2005. Bulletin 18. (In Russian).
13. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I. Methodological Principles of Synthesis of Foam-Glass-Crystal Materials According to Low-Temperature Technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 8, pp. 41–45. (In Russian).
14. Shlegel' I.F. Whether the hollow brick is effective? *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 6, pp. 41–43. (In Russian).

References

1. Ketov A.A., Puzanov I.S., Saulin D.V. Tendencies of development of technology of a foamglass. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 9, pp. 28–31. (In Russian).
2. Demidovich B.K. *Penosteklo* [The Foamglass]. Minsk: Nauka i tekhnika. 1975. 248 p.
3. Demidovich B.K. *Proizvodstvo i primeneniye penostekla* [Production and use of foamglass]. Minsk: Nauka i tekhnika. 1972. 301 p.
4. Patent RF 2332364. *Sposob izgotovleniya dolgovechnogo penostekla* [Way of production of a durable foamglass]. Klimov A.A., Klimov D.A., Klimov E.A., Klimova T.V. Declared 17.01.2006. Published 27.08.2008. Bulletin No. 24. (In Russian).
5. Manevich V.E., Subbotin K.Yu. Regularities of formation of a foamglass. *Steklo i keramika*. 2008. No. 5, pp. 18–20. (In Russian).
6. Vaisman Ya.I., Ketov A.A., Ketov P.A. Receiving the made foam materials on the basis of synthesizable silicate glasses. *Zhurnal prikladnoi khimii*. 2013. Vol. 86. No. 7, pp. 1016–1021. (In Russian).
7. Patent RF 2272005. *Sposob polucheniya penostekla* [Way of receiving foamglass]. Leonidov V.Z., Dudko M.P.,



19. ibausil
16–18.09.2015
Weimar

**Институт строительных материалов им. Ф.А. Фингера (FIB)
университета Bauhaus-Universität г. Веймар (Германия)
организует 19-й Международный конгресс по строительным материалам**

г. Веймар (Германия)

IBAUSIL

16–18 сентября 2015 г.

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

Основные темы конгресса

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

Официальные языки конференции – немецкий, английский

Подробности Вы найдете на сайте: www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

А.Д. ОРЛОВ, канд. техн. наук (aorlov2004@yandex.ru)

Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций им. В.А. Кучеренко (109428, г. Москва, ул. 2-я Институтская, 6)

Оптимизированная одностадийная технология гранулированного пеностекла на основе низкотемпературного синтеза стеклофазы

Рассмотрены основные принципы разработки и оптимизации пеностеклольных и пеностеклокристаллических материалов методом низкотемпературного синтеза стеклофазы на основе кремнистых опал-кристобалитовых пород. Приведен краткий сравнительный обзор основных технологий производства гранулированного пеностекла. В качестве критериев оптимальности одностадийных технологий пеностекла предлагаются суммарные затраты на щелочесодержащие сырьевые компоненты, а также на суммарные технологические энергозатраты на вспенивание и сушку. Дано описание и обоснование разработанной оптимизированной одностадийной технологии гранулированного пеностекла, основанной на получении сырцовых гранул (шихты) путем гранулирования тонкомолотого кремнеземистого компонента с натрийсодержащим связующим раствором на основе силикатов и других водорастворимых солей натрия. Приведены основные свойства полученных гранулированных пеноматериалов и технико-экономические преимущества разработанной технологии.

Ключевые слова: гранулированное пеностекло, опал-кристобалитовые породы, пеностеклокерамика, низкотемпературный синтез стеклофазы, диатомит, трепел, опока, цеолит.

A.D. ORLOV, Candidate of Sciences (Engineering) (aorlov2004@yandex.ru)

Central Research Institute of Construction Structures named after V.A. Kucherenko (6, Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

Optimization of One-Stage Technology of Granulated Foam Glass on the Basis of Low-Temperature Synthesis of Glass Phase

Basic principles of the development and optimization of foam-glass and foam glass crystalline materials by the method of low-temperature synthesis of a glass phase on the basis of siliceous opal-cristobalite rocks are considered. A brief comparative review of basic technologies of granulated foam glass manufacturing is presented. Total expenditure for alkali-containing raw components as well as total technological energy consumption for foaming and drying are offered as criteria of the optimality of foam glass one stage technologies. The description and substantiation of the developed optimized one-stage technology of granulated foam glass based on producing raw granules (batch) by means of granulating the fine ground siliceous component with the sodium-containing binding mortar on the basis of silicates and other water-soluble sodium salts are given. Main properties of obtained granulated foam materials and technical-economical advantages of the developed technology are presented.

Keywords: granulated foam glass, opal-cristobalite rocks, foam glass-ceramic, low-temperature synthesis of glass phase, diatomite, tripoli, gaize, zeolite.

В последние годы повысился интерес к гранулированному пеностеклу и аналогичным материалам, применяемым как в виде засыпки, так и в качестве особо легкого заполнителя бетонов и других строительных композитов [1]; в стадии реализации находится ряд крупных проектов по производству гранулированного пеностекла.

Возможность массового применения этого материала в строительстве зависит прежде всего от себестоимости, которая определяется сырьевой компонентой (до половины себестоимости готового продукта), и во вторую очередь, технологическими энергозатратами. Соответственно составы и технология производства гранулированного пеностекла должны изначально проектироваться исходя из критерия минимизации себестоимости.

Высокая стоимость как покупного стеклобоя, так и гранулята, сваренного в ваннных печах, объективно связана с высокими энергозатратами и капиталоемкостью стекловарения, а также с ограниченностью ресурсов стеклобоя, несопоставимых с потребностью строительной отрасли в легких заполнителях для бетона [2]. Так, расчетная себестоимость собственного производства стеклогранулята существенно превышает стоимость покупного тарного стеклобоя, составляя не менее 12–13 тыс. р/т (в ценах 2013 г.), что целесообразно только при производстве более дорогого блочного пеностекла.

Компромиссный вариант двухстадийной технологии, разработанный и апробированный в Томском политехническом университете [3], – замена варки стеклогранулята фриттованием тонкомолотой смеси сырьевых компонентов шихты снижает себестоимость

полуфабриката в лучшем случае до уровня цены на покупной стеклобой.

Альтернативой двухстадийной технологии производства пеностекла являются технологии низкотемпературного синтеза стеклофазы на основе опал-кристобалитовых пород, содержащих высокоактивный и частично гидратированный аморфный кремнезем, способный реагировать с растворами щелочей и вступать в реакции стеклообразования при пониженной температуре [4], однако высокая цена едкого натра (не менее 35 тыс. р/т в ценах 2013 г.) обесценивает преимущества одностадийного процесса.

Отдельным направлением является интеграция технологий пеностекла и пеностеклокерамики в техноло-



Рис. 1. Пеностекло, полученное по технологии прямого синтеза



Рис. 2. Печь: общий вид установки (а); в процессе испытания с неполной загрузкой, без питателя (б)

гические циклы глубокой химической переработки горных пород [5], где в качестве щелочесодержащего сырья также используется едкий натр.

Очевидный путь снижения стоимости сырьевой составляющей — отказ от едкого натра как основного щелочного сырья и введение оксида натрия через кальцинированную соду и продукты ее переработки.

В частности, работы по синтезу пеностекляных материалов на основе кремнистых пород и силикат-глыбы проводились в ГИС под руководством Д.Л. Орлова в 2005–2008 гг. по договору с ООО «Экспресстрой-индустрия» (Тамбов) и были реализованы в опытно-промышленном масштабе при производстве материала «Трегран».

Существенный недостаток пеностекла из стеклобоя тарного и листового состава — низкая щелочестойкость, ограничивающая его применение в строительных композициях (бетонах) на основе порландцемента.

Использование кремнистых пород с повышенным (до 10%) содержанием глинозема и снижение доли щелочей и щелочных земель по сравнению с составами тарных и листовых стекол существенно повышает химическую стойкость, особенно в щелочной среде, и снижает ТКЛР стеклофазы, что позволяет заметно ускорить отжиг блочного материала и упростить стабилизацию и стужку гранулированного пеноматериала. Этому же способствует присутствие в кремнистых породах 5% глинозема и более.

Фундаментальным критерием технической и экономической эффективности технологии гранулированных пеноматериалов являются затраты на энергоресурсы. Поскольку расход тепла на вспенивание примерно одинаков для всех технологий и определяется теплоемкостью стекла и температурой вспенивания, критерием оптимальности технологии будет расход тепла на операциях сушки.

Так, если расход тепла на вспенивание (без учета теплопотерь) составляет около 900 кДж/кг (250 кВтч/т), то расход тепла при мокрой технологии с распылительной сушкой 50% суспензии составит 2300 кДж/кг (630 кВтч/кг), не считая энергозатрат на сушку сырья после грануляции. На практике распылительная сушка полуфабриката дает прибавку себестоимости не менее 800–1000 р/т материала.

Приведенные выше направления и критерии проектирования составов и оптимизации технологий одностадийного синтеза пеностекла были реализованы в ходе исследований, проведенных автором в ЦНИИСК

им. В.А. Кучеренко начиная с 2012 г.

В качестве альтернативы разработана «сухая» одностадийная технология гранулированного пеностекла. Она основана на совмещенном с получением сырцовых гранул смешивании высокодисперсного порошка опал-кристоалитовой породы с многокомпонентным натрийсодержащим раствором. Это обеспечивает максимальную площадь межфазной границы, многокомпонентность шихты на микроуровне, максимально равномерное распределение компонентов и, как следствие, обеспечивает стеклообразование при температуре, не выходящей за интервал вспенивания готовой стеклофазы.

В качестве жидкофазного компонента были использованы многокомпонентные щелочесиликатные растворы на основе силикатов натрия, взаимодействующие с высокодисперсным опалом в широком диапазоне температуры и образующие при нагревании и обезвоживании активную легкоплавкую стеклофазу, обеспечивающую более раннее формирование закрытоячеистой структуры и соответственно хорошее вспенивание и низкое объемное водопоглощение готового материала. Это позволило снизить содержание оксида натрия, минимально достаточное для получения закрытоячеистой структуры, до 9–11 мас. %, благодаря чему стеклофаза имеет повышенную щелочестойкость.

Поскольку исходная сырьевая смесь содержит достаточное количество химически связанной воды (гидросиликатов) в составе как связующего раствора, так и в составе опала, а также определенное количество карбонатов, входящих в состав диатомита, специальные газообразователи либо не требуются, либо играют вспомогательную роль, позволяя варьировать плотность материала без изменения основного состава шихты (сырца).

Ключевая особенность разработанной технологии — совмещение операций смешивания кремнеземистого компонента (молотого диатомита) и связующего раствора с получением сырцовых гранул. Это не только исключает операции переработки и транспортирования вязкой массы, склонной к твердению и налипанию, но и позволяет регулировать средний размер гранул в диапазоне 0,5–10 мм, получая продукт от 0,3 до 15 мм (рис. 1).

В качестве базового кремнеземистого сырья был использован диатомит Мурачевского месторождения (Калужская обл.) фракции 20–100 мкм (остаток на сите 0,1 мм не более 5%) и влажностью не более 3%.

Связующий раствор на основе силикатов натрия, содержащий необходимое для стеклообразования количество оксида натрия, смешивался с минеральным компонентом непосредственно в смесителе-грануляторе периодического действия, в результате чего получались сырцовые гранулы близкой к сферической формы, размер которых зависел в основном от соотношения твердой и жидкой фаз.

Гранулированная шихта (сырцовые гранулы) высушивалась до 3–5% влажности и вспенивалась по общепринятой технологии при температуре 850–1000°C во вращающейся лабораторной печи косвенного нагрева (рис. 2).

Свойства полученного материала определялись по методикам ГОСТ 9758–86 «Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний».

В результате оптимизации составов и технологии пеностекла прямого синтеза были получены следующие показатели:

- массовая доля Na_2O – 9–11%;
- насыпная плотность (для фракции 5–15 мм) – 140–180 $\text{кг}/\text{м}^3$;
- прочность на сжатие в цилиндре – 0,7–1 МПа (для фракции 5–15 мм – 180 $\text{кг}/\text{м}^3$) до 7 МПа (фракция 0,5–1 мм – 400 $\text{кг}/\text{м}^3$);
- объемное водопоглощение не более 2%;
- фракционный состав вспененного гранулята от 0,2 до 15 мм с возможностью регулирования преобладающей фракции.

Как видно, основные целевые свойства полученного продукта соответствуют уровню гранулированного пеностекла, полученного по двухстадийной технологии.

При микроскопическом исследовании структура образцов представляет пену с ячейками до 1,5 мм и с гляцевыми стенками, что свидетельствует о высокой степени остеклования материала. Стенка ячейки представляет прозрачное (в стенках ячеек видны микропузырьки) вспененное стекло без заметного количества кристаллической фазы с включениями темноокрашенных примесных минералов.

Рентгенофазовый анализ также показал аморфный характер материала с незначительной примесью альфа-

кварца. Электронно-микроскопическое исследование также показывает отсутствие заметного количества кристаллической фазы.

В настоящее время технология была успешно апробирована на диатомитах, трепелах и опоках других месторождений, а также на цеолитах.

По сравнению с пеностеклом, полученным по двухстадийной технологии, расчетная себестоимость 1 м^3 материала может быть уменьшена не менее чем на 20–30% за счет удешевления сырьевой составляющей, снижения затрат топливно-энергетических ресурсов и сокращения числа технологических операций, что создает предпосылки для массового применения гранулированного пеностекла в строительстве.

В настоящее время исследования составов и способов получения гранулированного и блочного пеностекла на основе диатомитов продолжают на уровне НИОКР. В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко запущена опытная линия с гранулятором ТЛ-50: сырье – диатомиты, цеолиты, опоки, трепелы, туфы, перлиты; производительность лимитируется печью (50–60 $\text{кг}/\text{ч}$, 3 $\text{м}^3/\text{сут}$); с новой печью (рис. 2) плотность материала снизилась на 15–20%. Ведется проектирование опытно-промышленной линии производительностью 10 тыс $\text{м}^3/\text{г}$. На способ производства материала получен патент РФ на изобретение [6].

Список литературы

1. Давидюк А.Н. Легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны на стекловидных пористых заполнителях. М.: Красная звезда, 2008. 208 с.
2. Орлов Д.Л. Эксплуатационные свойства пеностекла и направления развития его производства // *Сб. докладов международной научно-практической конференции «Эффективные тепло- и звукоизоляционные материалы в современном строительстве и ЖКХ»*. 8–10 ноября 2006 г., Москва, МГСУ.
3. Казьмина О.В., Верещагин В.И., Семухин Б.С., Абияка А.Н. Низкотемпературный синтез стеклогранулята из шихт на основе кремнеземсодержащих компонентов для получения пеноматериалов // *Стекло и керамика*. 2009. № 10. С. 5–8.
4. Никитин А.И., Стороженко Г.И., Казанцева Л.К., Верещагин В.И. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе трепелов Потанинского месторождения // *Строительные материалы*. 2014. № 8. С. 34–37.
5. Мелконян Р.Г. Аморфные горные породы и стекловарение. М.: НИА Природа, 2002. 266 с.
6. Патент РФ №2513807. Способ получения теплоизоляционных блоков / Васкалов В.Ф., Орлов А.Д., Ведыаков И.И. Заявл. 23.07.2012. Оpubл. 20.04.2014. Бюл. №11.

References

1. Davidyuk A.N. Legkie konstruktsionno-teploizolyatsionnye betony na steklovidnykh poristykh zapolnitelyakh. [Lightweight construction-insulating concrete on glassy porous aggregates]. Moscow: Krasnaya Zvezda. 2008. 208 p.
2. Orlov D.L. Operational properties of foamed glass and directions of development of its production. *Reports of the international scientific-practical conference «Effective heat and sound insulating materials in modern construction and housing and communal services»*. November 8–10, 2006. Moscow. MGSU. (In Russian).
3. Kaz'mina O.V., Vereshchagin V.I., Semukhin B.S., Abiyaka A.N. Low-temperature synthesis of granulated batches for foamglass materials based on siliceous components. *Steklo i keramika*. 2009. No. 10, pp. 5–8. (In Russian).
4. Nikitin A.I., Storozhenko G.I., Kazantseva L.K., Vereshchagin V.I. Heat-insulating materials and products on the basis of tripolis of Potanin deposit. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 8, pp. 34–37. (In Russian).
5. Melkonyan R.G. Amorfnye gornye porody i steklovarenie [Amorphous rocks and glass production]. Moscow: «NIA Priroda». 2002. 266 p.
6. Patent RF 2513807 Sposob polucheniya teploizolyatsionnykh blokov [A method for producing heat-insulating blocks]. Vaskalov V.F., Orlov A.D., Vedyakov I.I. Declared 23.07.2012. Published 20.04.2014. Bulletin No. 11. (In Russian).



Подписка на электронную версию журнала «Строительные материалы»®

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

Я.И. ВАЙСМАН¹, д-р мед. наук, профессор; Ю.А. КЕТОВ², магистрант (ketov1992@list.ru)

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

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

Массоперенос раствора силиката при сушке сырцовых гранул в технологии гранулированного пеностекла

Исследовано влияние массопереноса раствора силиката натрия по грануле при сушке сырцовых гранул в технологии гранулированного пеностекла. Показано, что в процессе сушки происходит перенос растворенных компонентов на поверхность гранулы. Введение в исходную композицию компонентов, способствующих золь-гель-преобразованию силикатного раствора и отверждению гранул, предотвращает миграцию ионов Na^+ и открывает новые технологические возможности.

Ключевые слова: массоперенос раствора, гранулированное пеностекло.

Ya.I. VAISMAN¹, Doctor of Sciences (Medicine), Professor; Yu.A. KETOV², MA Student (ketov1992@list.ru)

¹ Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomol'skii Avenue, Perm, 614990, Russian Federation)

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

Mass Transfer of Silicate Solution during the Process of Raw Granules Drying in Technology of Granulated Foamed Glass

The influence of sodium silicate solution mass transferring inside raw granules of foamed glass during the drying process was investigated. It is shown that the transfer of dissolved components to the surface of the granules takes place during the drying. Admixing of components facilitating the sol-gel conversion of the silicate solution and solidification of granules into the initial composition prevents the migration of Na^+ ions and opens up new technological possibilities.

Keywords: solution mass transferring, granulated foamed glass.

Гранулированное пеностекло считается одним из наиболее эффективных, долговечных и безопасных насыпных теплоизоляционных материалов. Последовательность технологических операций производства была изложена в монографии Б.К. Демидовича [1] и практически сохранились в неизменном виде до настоящего времени. Примерно в то же время на способ получения гранулированного пеностекла было получено авторское свидетельство [2]. Тем не менее сведений о промышленно производимом в СССР гранулированном пеностекле найти не удалось. Материал стал востребован только на рубеже XX–XXI вв. в связи с возросшими требованиями к теплозащите зданий и, возможно, с остановкой заводов плитного пеностекла.

Вероятно, одним из первых производств гранулированного пеностекла в России был завод в Омске [3], взявший за основу патенты [4, 5]. Предложенное техническое решение на этом предприятии, как и на нескольких запущенных позднее, в основе своей при получении сырцовых гранул сохраняло неизменными операции гранулирования тонкомолотого стекла с водным раствором жидкого стекла и последующую сушку.

Однако в процессе сушки гранул происходит массоперенос растворенных веществ к поверхности, поэтому следует ожидать повышенной концентрации Na^+ в на-

ружном слое гранул. Неравномерность распределения компонентов по толщине гранулы может приводить к невысокой прочности гранул и к неоднородности их структуры в процессе термообработки.

Для предотвращения миграции раствора силиката в процессе сушки предложено использовать эффект золь-гель-перехода и отверждения исходной композиции [6]. Поэтому задачей данной работы было исследование явлений массопереноса в грануле из дисперсного стекла и раствора жидкого стекла и последствий этого процесса, влияющих на готовый продукт.

В исследованиях использовали стеклянный порошок из оконного стекла, размолотый в шаровой мельнице до прохождения через сито 0,08 мм. Жидкое стекло имело силикатный модуль 3,1 и плотность 1,42 кг/л.

Для исследования структуры получаемого материала применяли сканирующий электронный микроскоп Hitachi S-3400N с возможностью микроанализа. Микроскоп МБС-1 бинокулярный стереоскопический со шкалой для измерения размеров использовали для измерения срезов готовых пеностеклянных гранул.

Образцы готовили методом окатывания в тарельчатом грануляторе. По стандартной технологии 1000 г дисперсного стекла гранулировали с раствором, содержащим 150 мл жидкого стекла и 15 мл воды. Во втором случае для предотвращения массопереноса при сушке гранул в процессе помола стекла к нему добавляли 30 г силикагеля КСКГ на 1000 г стекла.

Полученные гранулы сушили при 60°C в термостате. Для исследований отделяли сырцовые гранулы с диаметром 12–14 мм. Скол гранулы исследовали методом электронной микроскопии, совмещенным с микроанализом. Вследствие химической неоднородности исследованных композиционных материалов точечный анализ не позволил выявить закономерности распределения компонентов. Однако сканирование поверхности дало очевидную картину неравномерного распределе-

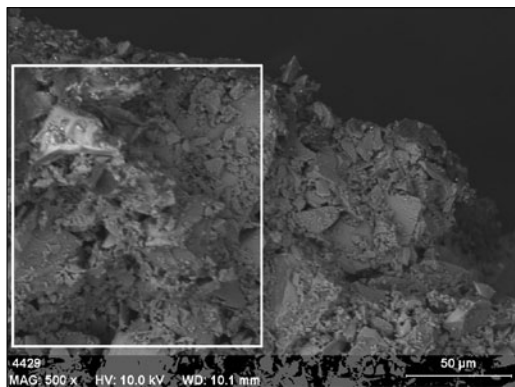


Рис. 1. Фотография скола сырцовой гранулы, полученной при возможности миграции раствора силиката

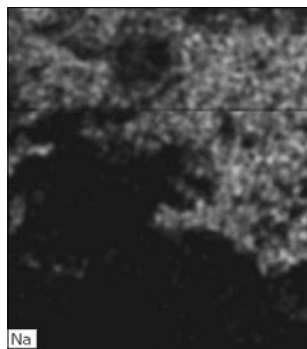


Рис. 2. Участок гранулы с определением концентрации Na^+ ; повышенное содержание Na^+ выделено светлым

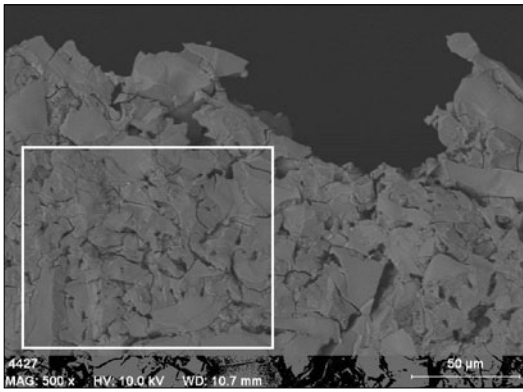


Рис. 3. Фотография скола сырьевой гранулы, полученной при гелеобразовании раствора силиката

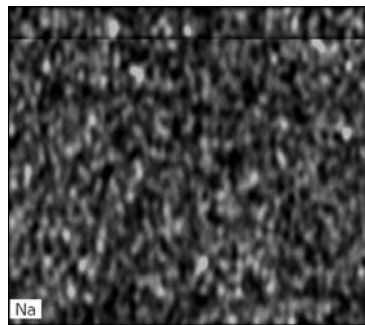


Рис. 4. Участок гранулы с определенным содержанием Na^+ ; повышенное содержание Na^+ выделено светлым

ния наиболее склонного к миграции Na^+ в случае с использованием раствора жидкого стекла.

На рис. 1. представлена микрофотография скола сырьевой гранулы. В верхнем правом углу можно увидеть зону наружной поверхности образца. Белым прямоугольником на фотографии выделен участок сканирования, отдельно показанный на рис. 2. Светлые участки снимка соответствуют повышенному содержанию Na^+ . Очевидно, что слои гранулы, близкие к внешней поверхности, обогащены ионами Na^+ , мигрировавшими к поверхности в процессе сушки. Толщину корки с повышенным содержанием Na^+ можно определить ориентировочно в 50–70 мкм. Следует отметить, что внутренняя структура гранулы имеет достаточно рыхлое строение, поэтому можно предположить, что нарушение поверхности корки, содержащей избыток растворенного первоначально силиката натрия, приведет к разрушению всей внутренней структуры.

Совершенно иначе обстоит дело в случае, когда к исходному дисперсному стеклу добавлено незначительное количество силикагеля, которого оказалось достаточно, чтобы вызвать гелеобразование в процессе сушки. Этот эффект виден на фотографии скола гранулы. Зерна стекла жестко закреплены в матрице из ксерогеля натриевой соли поликремниевых кислот (рис. 3). В этом случае распределение Na^+ по толщине гранулы оказывается весьма равномерным, что видно при рассмотрении сканированного на содержание Na^+ участка (рис. 4), где более светлым выделены участки с наибольшей концентрацией Na^+ .

Такие различия в распределении соединений Na^+ оказывают существенное влияние на процесс термообработки сырьевых гранул, в которые для усиления газовой выделенности было добавлено по 0,5 мас. % сахарозы. Термообработку гранул проводили в муфельной печи

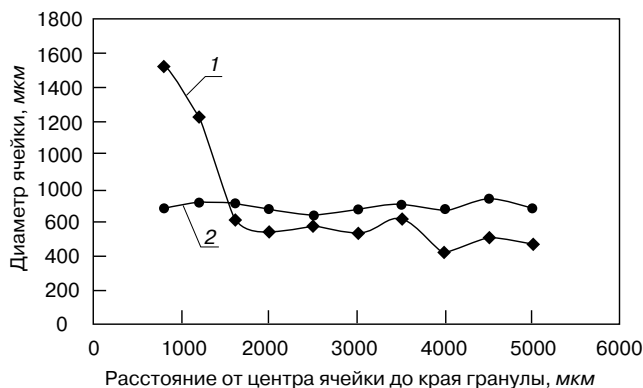


Рис. 5. Средний диаметр ячеек в зависимости от расстояния до поверхности гранулы: 1 – образец при возможности миграции раствора силиката в сырьевой грануле; 2 – сырьевая гранула получена при гелеобразовании раствора силиката

для предотвращения сжатия внешнего слоя получаемого термoplastического материала. Готовые пеностеклянные гранулы разрезали и исследовали методом оптической микроскопии средний диаметр ячеек в зависимости от расстояния до поверхности гранулы.

Полученные результаты представлены на рис. 5. В образце, полученном по обычной технологии гранулирования порошка стекла с добавлением раствора жидкого стекла во внешнем слое готовой гранулы, вблизи поверхности находятся крупные ячейки в 2–2,5 раза

превышающие размер ячеек внутри гранулы.

Эффект может быть объяснен понижением вязкости расплава стекла в пиропластическом состоянии вследствие повышенной концентрации Na^+ в поверхностном слое сырьевой гранулы. Этого явления не наблюдается у готовых гранул пеностекла, полученных по методу, предотвращающему миграцию раствора в сырьевой грануле при сушке.

Можно заключить, что стандартное приготовление сырьевых гранул для производства пеностекла из порошка стекла и раствора жидкого стекла приводит к неравномерному распределению компонентов связующего по толщине сырьевой гранулы, что обусловлено массопереносом в пористом теле. Это явление приводит к таким негативным практическим последствиям, как невысокая прочность сырьевых гранул, недопустимость их дробления для уменьшения фракции и неравномерность размеров ячеек в готовой пеностеклянной грануле.

Для предотвращения этих явлений процесс массопереноса при сушке гранул может быть подавлен осуществлением золь-гель-перехода, основой для которого могут быть соединения, вызывающие гелирование, в частности аморфный оксид кремния. Такие сырьевые гранулы отличаются равномерным распределением компонентов, что позволяет получать пеностекло с равномерными по глубине показателями, а также дробить сырьевые гранулы для производства качественного мелкогранулированного пеностекла без потери качества.

Работа выполнена при поддержке Правительства Пермского края (грант по проекту «Разработка безопасных теплоизоляционных материалов»). Финансирование международных исследовательских групп в соответствии с Постановлением Правительства Пермского края № 166-п от 06.04.2011 г.

Список литературы

1. Демидович Б.К. Производство и применение пеностекла. Минск: Наука и техника. 1972. 304 с.
2. А. с. СССР № 1033465. Способ получения гранулированного пеностекла / Б.К. Демидович, Е.С. Новиков, С.С. Иодо, В.А. Петрович. Оpubл. 07.08.83. Бюл. № 29.
3. Погребинский Г.М., Искоренко Г.И., Канев В.П. Гранулированное пеностекло как перспективный теплоизоляционный материал // *Строительные материалы*. 2003. № 3. С. 28–29.
4. Свидетельство на полезную модель РФ № 10169. Комплексная технологическая линия производства гранулированного пеностекла из стеклобоя / Г.И. Искоренко, В.П. Канев, Г.М. Погребинский. Заявл. 15.12.98. Оpubл. 16.06.99.
5. Патент РФ № 2162825. Способ изготовления гранулированного пеностекла из стеклобоя / Г.И. Искоренко, В.П. Канев, Г.М. Погребинский. Заявл. 30.12.1998. Оpubл. 10.02.2001.

6. Патент РФ № 2453510. *Способ получения пеностеклянных изделий* / Н.Н. Капустинский, П.А. Кетов, Ю.А. Кетов. Заявл. 14.10.2010. Опубл. 20.06.2012. Бюл. № 17.

References

1. Demidovich B.K. *Proizvodstvo i primenenie penostekla* [Production and use of foamglass]. Minsk: Nauka i tekhnika. 1972. 304 p.
2. Copyright certificate SSSR №1033465. *Sposob polucheniya granulirovannogo penostekla* [Way of receiving the granulated foamglass]. Demidovich B.K., Novikov E.S., Iodo S.S., Petrovich V.A. Published 07.08.83. Bulletin No. 29. (In Russian).
3. Pogrebinskii G.M., Iskorenko G.I., Kanev V.P. The granulated foamglass as perspective heat-insulating material. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2003. No. 3, pp. 28–29. (In Russian).
4. The certificate on useful model RF 10169. *Sposob izgotovleniya granulirovannogo penostekla iz stekloboya* [Complex technological production line of the granulated foamglass from a cullet]. Iskorenko G.I., Kanev V.P., Pogrebinskii G.M. Declared 15.12.98. Published 16.06.99. (In Russian).
5. Patent RF 2162825. *Sposob izgotovleniya granulirovannogo penostekla iz stekloboya* [Way of production of the granulated foamglass from a cullet]. Iskorenko G.I., Kanev V.P., Pogrebinskii G.M. Declared 30.12.1998. Published 10.02.2001. (In Russian).
6. Patent RF 2453510. *Sposob polucheniya penosteklyannykh izdelii* [Way of receiving penosteklyannykh of products]. Kapustinskii N.N., Ketov P.A., Ketov Yu.A. Declared 14.10.2010. Published 20.06.2012. Bulletin No. 17. (In Russian).



В.И. Корнеев, П.В. Зозуля

СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ СОСТАВ, СВОЙСТВА

М.: РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2010. 320 с.

Изложены основы современных представлений о сухих строительных смесях и растворах.

Приведены основные определения и классификации сухих смесей. Охарактеризованы составляющие: вяжущие, заполнители, наполнители, функциональные добавки. Показана методика проектирования составов. Описаны основные группы ССС, их состав и свойства. В приложении даны основные применяемые термины и определения, наиболее употребляемые единицы измерения, перечень российских и зарубежных стандартов и др.

Допущено учебно-методическим объединением в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов».

Стоимость одного экземпляра 900 р. без учета доставки

По вопросам приобретения книги обращаться
по тел./факсу: (499) 976-22-08, 976-20-36
E-mail: mail@rifsm.ru

НОВОСТИ

Конструирование реологических свойств строительных смесей и растворов от ГК ЕТС

Научно-техническим центром ГК ЕТС разработана и внедряется технология конструирования реологических свойств строительных смесей и растворов по принципу модификации единой универсальной базы.

В основу системы положена идея разделения основных свойств входящих в ССС реологических модифицирующих функциональных компонентов таким образом, чтобы каждый компонент целенаправленно влиял на определенные свойства ССС и минимально влиял на другие свойства системы. Влияние каждого компонента имеет заданные границы, что позволяет в достаточно широких пределах прогнозировать свойства получаемых ССС в зависимости от минерального сырья и добавления функциональных компонентов.

Система модифицирования разработана таким образом, чтобы при различных соотношениях ее компонентов в смеси было возможно получить весь спектр необходимых реологических свойств конечного продукта. Система аналогична широко известным принципам колерования краски, когда единая белая универсальная баз, пригодная как для наружного, так и для внутреннего использования, при помощи ограниченного числа пигментных паст может быть окрашена в огромное число стандартных оттенков.

Для реализации технологии вместо всех типов эфиров целлюлозы и других реологических модификаторов предполагается использование всего лишь трех продуктов: единую универсальную целлюлозную базу REOBASE и два модификатора REOMOND (А и В). Специалистами ГК ЕТС разработаны дозировки целлюлозной базы и модификаторов для наиболее распространенных видов ССС и правила подбора компонентов.

По материалам ГК ЕТС

УДК 666.189.3

Л.В. САПАЧЕВА, канд. техн. наук (ladavs@rambler.ru), С.Ю. ГОРЕГЛЯД, инженер-химик-технолог
ООО РИФ «Стройматериалы» (127434, Москва, Дмитровское ш., 9, стр. 3)

Пеностекло для экологичного строительства в России

Приведена информация о начале производства засыпного пеностекла в России. Показано, что использование пеностекла позволяет возводить энергоэффективные экологичные здания. Даны основные характеристики пеностекляного щебня плотностью 140 кг/м³. Описана технология производства засыпного пеностекла. По данным производителя, использование пеностекла в виде засыпной теплоизоляции, например под фундаментную плиту, позволяет сократить бюджет строительства на данном этапе работ до 35%. Экономия осуществляется за счет уменьшения расходов на земляные работы и работы по устройству фундаментного основания.

Ключевые слова: энергоэффективность, высокотехнологичное строительство, экологичный проект, зеленое строительство, пеностекло.

L.V. SAPACHEVA, Candidate of Sciences (Engineering) (ladavs@rambler.ru), S. YU. GOREGLYAD, Engineer-Technologist
OOO RIF «Stroymaterialy» (9, Building 3, Dmitrovskoe Highway, 127434, Moscow, Russian Federation)

Foam Glass for Eco-Friendly Construction in Russia

Information about the beginning of the production of loose-fill foam glass in Russia is provided. It is shown that the use of foam glass makes it possible to build energy saving, eco-friendly buildings. Main characteristics of the foam glass gravel of 140 kg/m³ density are presented. The technology of loose-fill foam glass production is described. According to the manufacturer the use of foam glass as loose-fill heat insulation, under the foundation slab for example, makes it possible to reduce the construction budget at this stage of works by 35%. The economy is realized due to reducing the cost of earth works and foundation base works.

Keywords: energy efficiency, high-tech construction, eco-friendly design, green construction, foam glass.

20 декабря 2013 г. начал выпуск продукции самый большой завод в Европе по производству пеностекла в виде засыпного утеплителя. Проект реализован компанией ООО «АйСиЭм Гласс Калуга» совместно с ОАО «РОСНАНО». Завод расположен в технопарке «Ворсино» (Калужская обл.). Проектная мощность оборудования составляет 300 тыс. м³ в год. В июне 2014 г. компания «АйСиЭм Гласс Калуга» запустила третью и четвертую производственные линии.

Усовершенствованная российская технология производства засыпного пеностекла следующая: сушка и измельчение стеклобоя до 50 мкм; введение глицерина и добавок в сырьевую смесь; перемешивание; подача шихты на специальной подложке в туннельную печь; спекание при температуре около 950°C. Под воздействием высокой температуры шихта в туннельной печи вспенивается и образуется пеностеклянный ковер, который при резком охлаждении распадается на куски (щебень). Материал упаковывается в биг-беги объемом 1 м³, а также отгружается крупнотоннажным транспортом навалом [1–3].

По результатам испытаний, проведенных в НИИСФ, плотность пеностекляного щебня составляет 140 кг/м³.

Теплопроводность в сухом состоянии 0,08 Вт/(м·°C). Прочность при сжатии при 25% относительной деформации 0,85 МПа. Водопоглощение кратковременное при полном погружении на 24 ч 2,7 об. %; водопоглощение длительное при полном погружении на 28 сут 4 об. %. Морозостойкость 50 циклов (<http://www.icmglass.ru/dokumentatsiya/isyitaniya-niisf-raasn.html>, дата обращения 14.01.2015 г.). По заключению НИИСФ пеностеклянный щебень рекомендуется к применению в качестве теплоизоляционных засыпок при соблюдении требований СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003». Материал в соответствии с российскими стандартами имеет группу горючести НГ.

Экологическая безопасность пеностекляного щебня позволяет использовать его при строительстве детских, медицинских зданий и сооружений [4]. В настоящее время на нескольких строительных объектах в Москве и Московской области утепляют будущие помещения для детей пеностеклом. Так, в рамках программы Наро-Фоминского района по строительству приоритетных социальных объектов в качестве современного уте-



Сырье



Укладка шихты на подложку



Подача шихты в туннельную печь



Пеностеклянный ковер



Резкое охлаждение приводит к самопроизвольному распаду пеностеклянного ковра на щебень



Готовая продукция – пеностеклянный щебень

плителя пеностекла в засыпке заложено под фундамент детской школы искусств в п. Калинин (Московская область). В Москве на ул. Нижегородской и ул. Басовской с использованием засыпного пеностекла строятся современный детский сад, школа. В Таганском районе Москвы (ул. Нижегородская, 11) возводится современный монолитный пятисекционный многоквартирный жилой дом с подземным паркингом.

Также универсальная теплоизоляция из пеностеклянного щебня применена для утепления фундаментной плиты в 17-квартирном социальном жилом доме в г. Болохово (Тульская обл.) в рамках программы Фонда ЖКХ по переселению из ветхого и аварийного жилья – строительству пилотных энергоэффективных зданий на территории Российской Федерации. Это проект программы «Русский Эко-Дом», который реализуется и будет первым в серии высокотехнологичных, экологических проектов. В состав партнерской группы входят: Совет по экологическому строительству, ООО «Архитектурная мастерская Цыцина», ЗАО «Байер», Ассоциация «ГринСтрой», НП «НАЭВИ», НП «Центр экологической сертификации – Зеленые стандарты» и ОАО «РОСНАНО».

Список литературы

1. Давидюк А.Н., Несветаев Г.В. Эффективные материалы и конструкции для решения проблемы энергосбережения зданий // *Жилищное строительство*. 2010. № 3. С. 16–20.

2. Стаховская Н.Э., Червоный А.И. Пеностекло из несортированных отходов стекла // *Строительные материалы*. 2012. № 11. С. 24–28.
3. Давидюк А.А. Несущая способность анкерного крепежа и гибких базальто-пластиковых связей в кладке из легковесных блоков на стекловидных заполнителях // *Жилищное строительство*. 2014. № 3. С. 39–43.
4. Ремизов А.Н. О стимулировании экоустойчивой архитектуры и строительства // *Жилищное строительство*. 2013. № 1. С. 41–43.

References

1. Davidyuk A.N., Nesvetaev G.V. Effective Materials and Structures to Decide the Problem of Power Saving in Buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2010. No. 3, pp. 16–20. (In Russian).
2. Stakhovskaya N.E., Chervony A.I. Foam Glass from Unsorted Scrap Glass. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 11, pp. 24–28. (In Russian).
3. Davidyuk A.A. Bearing capacity of anchor fastening and flexible basalt-plastic ties in masonry made of lightweight concrete blocks with glassy binders. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 1, pp. 41–43. (In Russian).
4. Remizov A.N. On Stimulation of Environmentally Sustainable Architecture and Building *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2014. No. 3, pp. 39–43. (In Russian).

Ю.Э. ВАСИЛЬЕВ, д-р техн. наук (vas@mail.ru), А.В. ИЛЮХИН д-р техн. наук, КОЛБАСИН А.М., канд. техн. наук, В.И. МАРСОВ, д-р техн. наук, ДИНЬ АН НИНЬ, инженер Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (125319, г. Москва, Ленинградский просп., 64)

Технологические возможности дозаторов с регулированием по производительности

Для дозаторов с регулированием по производительности предложен принцип управления, использующий возможности микропроцессорной техники за счет замены традиционного контура обратной связи со стандартным регулятором на микропроцессорное устройство, реализующие алгоритмический принцип регулирования. В такой схеме информация с датчиков массы и скорости ленты поступает на микропроцессор, на выходе которого вырабатывается в соответствии с заданным алгоритмом управляющее воздействие с целью изменения скорости ленты.

Ключевые слова: дозатор непрерывного действия, система управления, автоматизация, обратная связь.

Yu.E. VASILIEV, Doctor of Sciences (Engineering) (vas@mail.ru), A.V. ILYUKHIN, Doctor of Sciences (Engineering), A.M. KOLBASIN, Candidate of Sciences (Engineering), V.I. MARSOV, Doctor of Sciences (Engineering), DIN AN NIN, Engineer Moscow State Automobile and Road Technical University (64, Leningradsky Avenue, 125319 Moscow, Russian Federation)

Technological Capabilities of Batchers with Capacity Regulation

A principle of control using the capabilities of microprocessor technique due to the replacement of the traditional feedback loop with standard regulator by a microprocessor device, which realizes the algorithmic principle of regulation, is offered. In this scheme the information from sensors of mass and belt velocity is transmitted to the microprocessor at the outlet of which the control action on the change in the belt velocity is produced according to the set algorithm.

Keywords: continuous batcher, control system, automation, feedback.

Существует значительное количество различных модификаций дозаторов, в которых скорость ленты весового транспортера постоянна, а измеряемой величиной является регулируемый параметр — расход. Условно дозаторы такого типа называются дозаторами с регулированием по массе. Структуры этих дозаторов отражают принцип регулирования, основанный на поддержании неизменного среднего значения массы материала на ленте транспортера.

Более высокой точностью обладают дозаторы с регулированием по расходу, использующие в качестве способа действия (регулирующего параметра) изменение скорости ленты весового транспортера. Регулирование по расходу дает более высокую точность дозирования в установившемся режиме, позволяет применять оптимальный вид управляющего воздействия с помощью изменения скорости ленты весового транспортера и, как следствие, получать равномерное истечение материала; дает широкий диапазон регулирования и возможность использовать в качестве регулирующих органов стандартные устройства общепромышленного назначения.

До настоящего времени автоматизация процессов непрерывного дозирования шла по традиционному пути, используя свойства систем с одноконтурной обратной связью и сводя систему дозирования, сохраняя ее основные свойства при любом числе внешних воздействий, к одноконтурной.

В дозаторах с регулированием по производительности в качестве управляющего воздействия используется скорость ленты весового транспортера. Такой вариант управления кажется привлекательным из-за того, что позволяет с наибольшим быстродействием изменять производительность дозатора, не влияя на режим работы питателя.

Однако динамические процессы в этих дозаторах подчиняются совершенно иным закономерностям, чем в дозаторах с управлением по нагрузке, не позволяя использовать при расчетах их настроек известные методы теории автоматического регулирования. Поэтому необходимы исследования потенциальных возможностей этого принципа дозирования.

Рассмотрение дозаторов как систем автоматического регулирования расхода позволяет решить задачи выбора наилучшей с точки зрения принятого критерия оценки

структурной схемы дозирования и их параметров при заданном законе регулирования, а также параметров настройки системы и пределов их изменения.

Структурная схема дозаторов с регулированием по расходу (часто используется определение «дозаторы с регулированием по скорости») приведена на рис. 1.

Сигнал $U_d(t)$ с выхода силоизмерителя Д подается на элемент умножения ЭУ, куда также поступает сигнал $U_v(t)$ от датчика скорости (тахогенератора ТГ). На элементе сравнения производится вычитание сигнала $U_d(t)$ и U_3 датчика З, а возникающий сигнал рассогласования $\Delta(t)$ поступает на И или ПИ — регулятор, который через сигнал $\mu(t)$ с помощью регулирующего органа РО изменяет скорость ленты $U(t)$ весового транспортера, до тех пор пока производительность дозатора не станет равной заданной.

В дозаторах в основном применяют регуляторы общепромышленного назначения, что сводит практические задачи обеспечения высококачественного дозирования в первую очередь к определению оптимальных параметров их настройки.

Независимо от типа и конструкции весоизмерительного устройства (весового транспортера) дозаторы с «жесткой подвеской» являются безынерционными звеньями с выходной величиной $U_d = K_d M(t)$, где K_d — коэффициент преобразования датчика.

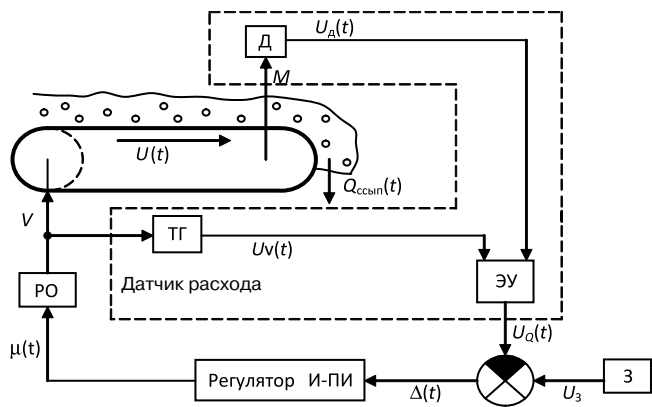


Рис. 1. Функциональная схема дозатора с регулированием по скорости

В качестве датчика скорости в дозаторах рассматриваемого типа наиболее часто используют тахогенераторы постоянного тока, которые независимо от типа и конструкции представляют собой безынерционные звенья с уравнением связи $U_v = K_{me} V(t)$, где K_{me} – коэффициент передачи тахогенератора.

Измеритель расхода представляет собой множительный элемент ЭУ с передаточным отношением $U_q = K_{эп} U_v U_d$, где $K_{эп}$ – коэффициент усиления.

Элемент сравнения вырабатывает сигнал рассогласования, который обрабатывается регулятором, формирующим пропорциональный – П, интегральный – И или пропорционально-интегральный – ПИ законы регулирования:

$$\mu = K_d \Delta; \mu = K_p \int_0^t \Delta dt; \mu = K_p (\Delta + 1/T_u) \int_0^t \Delta dt, \quad (1)$$

где K_p – коэффициент усиления регулятора; T_u – постоянная времени.

Управляющее воздействие μ поступает на регулирующий орган, который управляет скоростью ленты весового транспортера: $V = K_{po} \mu$, где K_{po} – коэффициент передачи.

Для весового транспортера необходимо перейти к аналитической зависимости между скоростью ленты $U(t)$ и моментом $M(t)$ от массы материала на ленте.

Возмущения, действующие в системе, приводят к изменению массы материала на ленте весового транспортера и условно могут быть представлены изменением высоты слоя материала на ленте. Расчет САР дозатора целесообразно производить на импульсное или ступенчатое воздействия.

На рис. 2 представлены графики изменения отклонения производительности дозатора по материалу, сыпавшему с ленты транспортера. Графики построены при коэффициенте быстрогодействия системы $K=0,01$, дающем достаточно малое значение нескомпенсированной погрешности дозирования; времени действия возмущающего импульса $t_u=5$ с; производительности дозатора $Q=3/33$ кг/с при 20% возмущении. Кривые соответствуют: 1 – маятниковому, 2 – параллельному, 3 – консольному типам транспортеров.

При рассмотрении (рис. 2) необходимо отметить, что переходный процесс в системе дозирования независимо от типа подвески весового транспортера можно разделить на две фазы. Первая характеризуется перемещением импульса изменения производительности от начала до конца транспортера. При этом производительность сыпавшего с ленты материала меньше заданной производительности и нескомпенсированная погрешность дозирования отрицательна. Вторая фаза характеризуется ссыпанием материала, поступившего в результате воздействия импульса с ленты транспортера; все это время нескомпенсированная погрешность дозирования положительна.

Список литературы

1. Марсова Е.В. Модель дозаторов непрерывного действия с разомкнутыми системами измерения расхода // Сб. науч. трудов «Автоматизация инженерно-строительных технологий, машин и оборудования». М.: МГСУ, 2007.
2. Марсова Е.В. Новое поколение дозирующих устройств непрерывного действия // Известия вузов. Строительство. 2003. № 1. С. 129–131.
3. Либенко А.В., Махер А.Р. Компенсация погрешностей при связном управлении многокомпонентным дозированием // Сб. науч. трудов «Инновационные технологии в транспорте и в промышленности». М.: МАДИ, 2007. С. 117–120.
4. Марсова Е.В., Солонников С.Е., Кузнецов М.Н. Особенности проектирования дозаторов-интеграторов расхода непрерывного действия // Сб. науч. трудов «Автоматизация технологических процессов в строительстве». М.: МАДИ, 2007. С. 17–20.
5. Либенко А.В., Ларкин И.Ю. Автоматическое регулирование однородности дозируемых компонентов бетонной смеси // Сб. науч. трудов. Секция «Строительство». РИА, 2005. Вып. 1. С. 151–156.

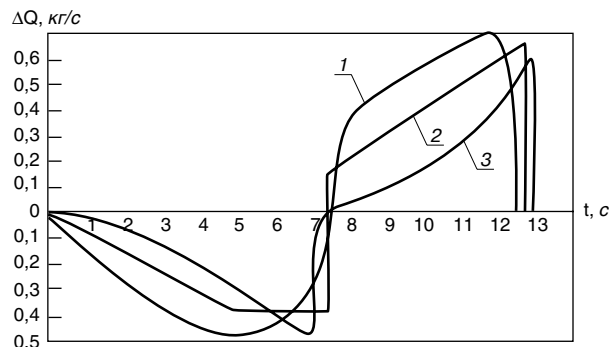


Рис. 2. Изменение отклонения производительности дозатора по материалу, сыпавшему с ленты транспортера ($t_u=5$ с)

Таким образом, технологическая ошибка дозирования по массе будет равна сумме отклонений расхода от заданного значения за все время переходного процесса:

$$F = \int_0^{\tau} \Delta Q_{\text{ссын}}(t) dt = \int_0^{\tau} \Delta Q_{\text{ссын}}(t) dt + \int_{\tau}^{\infty} \Delta Q_{\text{ссын}}(t) dt, \quad (2)$$

где значение первого интеграла определяет ошибку дозирования в интервале времени $0-\tau$, а второго – в интервале времени $\tau-\infty$.

Требуется получить за цикл регулирования нулевую ошибку дозирования. Сложность состоит в том, что регулирование в существующих системах дозирования ведется только по среднему значению производительности, определяемой массой материала на ленте транспортера. Судя по интегральному выражению (2), необходимо для получения ошибки дозирования за цикл измерения учитывать массу материала, которая сыпается за это время с ленты.

Необходимо предложить другой принцип управления, используя возможности микропроцессорной техники, заменив традиционный контур обратной связи со стандартным регулятором на микропроцессорное устройство, реализующее алгоритмический принцип регулирования. В такой схеме информация с датчиков массы и скорости ленты поступает на микропроцессор, на выходе которого вырабатывается в соответствии с заданным алгоритмом управляющее воздействие на изменение скорости ленты.

Алгоритм за выбранный шаг вычислений определяет поступившую на весовой транспортер и сыпавшую с него массу материала, разность которых и определит величину управляющего воздействия в виде изменения скорости ленты.

Предлагаемый способ управления дозатором с управлением по реальной массе материала, поступающей в смеситель, обеспечит более высокие метрологические характеристики дозирующей системы.

References

1. Mars E.V. Model of batchers of continuous action with the opened systems of measurement of an expense. *Collection of scientific works «Automation of engineering technology, machinery and equipment»*. Moscow: MGSU. 2007. (In Russian).
2. Mars E.V. A new generation of continuous dosing devices. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2003. No. 1, pp. 129–131. (In Russian).
3. Libenko A.V., Maher A.R. Compensation of errors at coherent management of multicomponent dispensing. *Collection of scientific works «Innovative technologies in transport and industry»*. Moscow: MADI. 2007, pp. 117–120. (In Russian).
4. Mars E.V., Solodnikov S.E., Kuznetsov M.N. Design features dispensers integrators continuous flow. *Collection of scientific works «Automation of technological processes in the construction of»*. Moscow: MADI. 2007, pp. 17–20. (In Russian).
5. Libenko A.V., Larkin I.Yu. Automatic control of homogeneity dosed components of the concrete mix. *Collection of scientific works. Section «Construction»*. RIA. 2005. Vol. 1, pp. 151–156. (In Russian).

Новые виды оборудования Самарского завода «Строммашина» для производства извести

За прошедший 2014 г. в нашей стране и мире произошли события, в большей или меньшей степени повлиявшие на развитие каждого предприятия российской строительной отрасли. В условиях сложившейся экономической ситуации, когда при необходимости высокого качества оборудования цена на него становится критичной для большинства предприятий, производящих строительные материалы, чрезвычайно актуальным стал вопрос промышленного изготовления и поставок надежного российского оборудования, услуг инжиниринга, сервиса, в том числе для известковых предприятий.

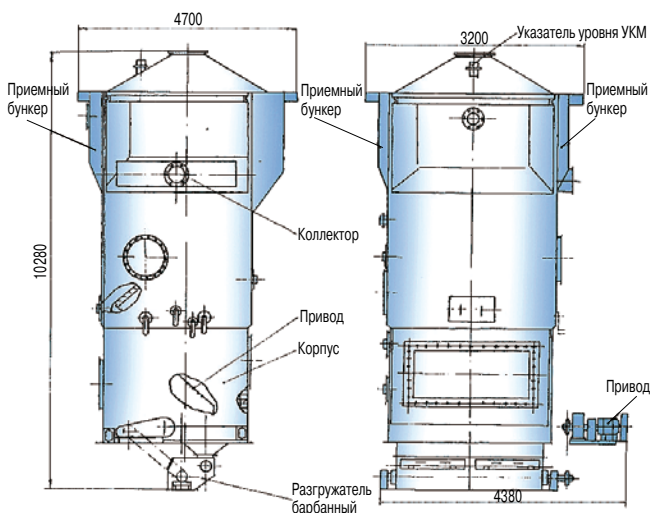
В этих условиях Самарский завод «Строммашина» активно развивает инжиниринговую составляющую комплекса услуг и поставок заказчику. Опыт работы позволяет предлагать заказчикам комплексные решения от проекта, поставки отдельного оборудования и производственных линий до их шеф-монтажа и пуско-наладки.

В соответствии с меняющимися рыночными условиями завод постоянно расширяет номенклатуру выпускаемых изделий.

Примером может служить линия для производства высокоактивной флюсовой извести на короткой печи $2,5 \times 40$ м с запечным двухслойным подогревателем и холодильником, реализованная на Новоджизакском известковом заводе (Узбекистан). Расчетная производительность линии с одной печью $2,5 \times 40$ м составляет 100 т/сут.

Особенность работы линии состоит в предварительном удалении влаги и подогреве материала до $450\text{--}550^\circ\text{C}$. При этом материал не только подогревается, но и частично декарбонизируется. Процесс начинается с того, что чистый известняк фракции 10–25 мм по конвейерам поступает в бункер-накопитель подогревателя, где проходит два уровня подогрева за счет тяговых вентиляторов. Подогрев осуществляется отходящими газами из вращающейся печи, температура которых около $950\text{--}1000^\circ\text{C}$. При прохождении первого и второго слоев известняка температура отходящих газов снижается до $160\text{--}180^\circ\text{C}$, при этом сырье нагревается до $550\text{--}600^\circ\text{C}$.

Подогретое сырье попадает в футерованный бункер. Далее питающим дозатором сырье подается в печь при средней температуре $450\text{--}500^\circ\text{C}$, за счет этого производительность печи увеличивается в 2,1 раза, расход газа уменьшается в 1,8 раза. Если рассмотреть показатели аналогичных заводов с печами $2,5 \times 40$ м без подогревателя, то их производительность обычно составляет $40\text{--}50$ т/сут с расходом $280\text{--}315$ кг усл. топлива на 1 т обожженной извести. Следует учитывать, что в данном случае расход приведен для производства строительной извести активностью 90–91 % (I сорт).



Подготовитель слоевой СМС 198

На действующем производстве Новоджизакского известкового завода выпуск флюсовой извести на печи $2,5 \times 40$ м с подогревателем при активности 94–96 % составил 90–94 т/сут, при этом расход условного топлива составил 196 кг на 1 т извести.

При выпуске строительной извести активностью 90–91% (I сорт) производительность составляет 115–120 т/сут при расходе 175 кг усл. топлива на 1 т готовой продукции.

В печах без подогревателя производить флюсовую известь активностью 94–96% для использования в металлургии практически невозможно.

Для получения молотой извести Самарский завод «Строммашина» предлагает несколько вариантов оборудования – это шаровые, валковые и молотковые мельницы. Сейчас предприятие хорошо известно не только как поставщик оборудования для обжига, сушки, аспирации, но и помольного оборудования. Самым востребованным типом мельниц являются шаровые мельницы сухого помола.

В настоящее время компания предлагает *мельницы молотковые тангенциальные* (ММТ) производительностью от 8 т/ч с длиной ротора 830–2590 мм и диаметром 1000–2500 мм и валковые мельницы с диаметрами стола 100–1800 мм. Уже более 20 мельниц ММТ поставлено на различные промышленные предприятия.

Сейчас особый интерес потребителей сосредоточен на *среднеходных валковых мельницах*, так как они основаны на одном из наиболее экономичных принципов разрушения материалов – раздавливания. Валковые мельницы характеризуются относительно малыми габаритами и в 1,5–2 раза меньшими удельными энергозатратами по сравнению с другими типа-



Мельница молотковая тангенциальная

ми мельниц, а также высоким сроком службы мелющих элементов.

Отличительная особенность данных мельниц заключается в том, что процессы помола, сушки и классификации получаемого продукта происходят в одном агрегате. Валковые мельницы нашли широкое применение в горнодобывающей, химической, энергетической, строительной и других отраслях промышленности. Их используют для приготовления порошков различных нерудных материалов, в том числе мела, гипса, известняка, комовой извести, клинкера, полуантрацитов, отходов обогащения, и рассчитаны на непрерывную работу. Данный тип мельниц так же хорошо зарекомендовал себя при помоле бурых и каменных углей в системах приготовления пылеугольной смеси для тепловых электростанций и котельных. Высокая скорость движения теплоносителя при взаимодействии с материалом дают дополнительный эффект по влагоудалению, это позволяет снизить удельный расход энергии на тонну производимого продукта и создает дополнительный экономический эффект для заказчика, повышая его конкурентоспособность.

Принцип работы валковой среднеходной мельницы заключается в следующем: материал поступает из бункера на размольный стол; под влиянием центробежных сил, возникающих при вращении размольного стола, он отбрасывается к периферии, попадает под вращающиеся валки. Под действием давления на валки, а также собственного веса валков происходит помол материала, в основном за счет раздавливания и частично истирания, возникающего вследствие различных скоростей вращения валков и размольного стола. Для обеспечения нормального процесса между бандажами валков и броней размольного стола устанавливается соответствующий зазор посредством упорных болтов, вставленных в верхние части рычагов. Материал, подхваченный потоком сушильного агента, подается к сепаратору, где крупные фракции отделяются и возвращаются на повторный помол. Готовая пыль при помощи мельничного вентилятора подается в систему пылепроводов и далее по назначению. Тонина помола регулируется поворотом лопаток сепаратора.

В связи с тем, что данный агрегат позволяет выполнить три технологические операции одновременно, снижается потребность в дополнительных производственных площадях; снижается численность оборудования на производственном участке; не требуется транспортирующего оборудования для перемещения материала между участками сушки, помола и классификации. В результате уменьшается общая числен-

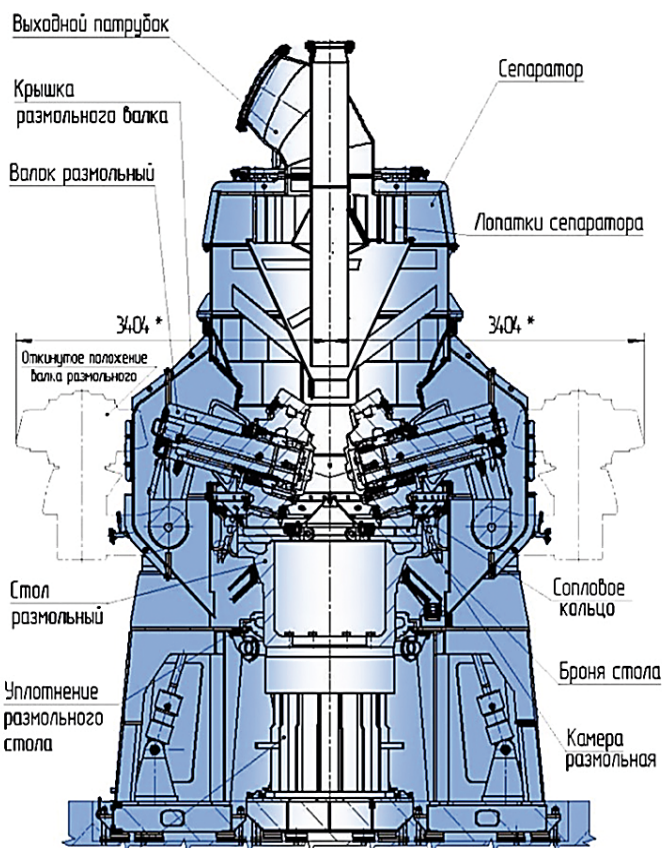


Схема валковой мельницы

ность обслуживающего персонала и агрегатов, что напрямую снижает себестоимость продукции.

До недавнего времени при реализации инвестиционных проектов выбор валковых мельниц ограничивался предложениями европейских производителей или китайских машиностроителей. В первом случае мельницы отличаются высокой ценой, во втором прежде всего возникает вопрос качества изготовления агрегатов. В настоящее время у потребителей есть возможность приобрести валковую мельницу производства Самарского завода «Строммашина» в оптимальном соотношении цена-качество. Специалисты предприятия помогут выбрать мельницу в соответствии с поставленными задачами. На предприятии сохранены традиции подхода к проектированию и изготовлению оборудования. Выпускаемое оборудование надежно эксплуатируется на протяжении десятков лет, о чем свидетельствуют многочисленные отзывы потребителей.

В завершении хотелось бы поблагодарить те предприятия по производству извести, которые уже не один год выбирают Самарский завод «Строммашина» в качестве партнера и являются его постоянными клиентами. Коллектив завода прилагает все усилия, чтобы помочь Вам в нелегкой, но чрезвычайно важной работе. Мы идем вперед и развиваемся вместе с Вами!



**САМАРСКИЙ ЗАВОД
СТРОММАШИНА**

443022, г. Самара, ул. XXII Партсъезда, д. 10 А
Тел./факс: (846) 3-741-741
E-mail: td@strommash.ru
www.strommash.ru



Сепараторы для ММТ

УДК 620.169:542.2

Д.Е. БАРАБАШ¹, д-р техн. наук (barabash60170@yandex.ru), Ю.Б. ПОТАПОВ¹, д-р техн. наук, С.П. ЧЕРНУХИН¹, инженер; В.В. ВОЛКОВ², канд. физ.-мат. наук

¹ Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84)

² Военно-учебный научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» (394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А)

Прогностическая оценка работоспособности строительных полимерных эластомеров СВЧ-резонансным методом

Представлены основные положения СВЧ-резонансного метода, позволяющего оценить динамику изменения амплитудно-частотных характеристик строительных полимерных композитов класса эластомеров. Приведены конструктивная схема и принцип работы предлагаемой СВЧ-резонансной установки. Обоснованы количественно и качественно сочетания факторов, оказывающих деструктивное влияние на полимерную основу строительных композитов. Получены регрессионные уравнения, отражающие динамику изменения амплитудно-частотных характеристик в зависимости от продолжительности деструктивных воздействий и степени растяжения образцов строительных композитов.

Ключевые слова: резонанс, деградация, эластомеры, амплитудно-частотные характеристики, строительные полимерные композиты.

D.E. BARABASH¹, Doctor of Sciences (Engineering) (barabash60170@yandex.ru), Yu.B. POTAPOV¹, Doctor of Sciences (Engineering), S.P. CHERNUKHIN¹, Engineer; V.V. VOLKOV², Candidate of Sciences (Physics and Mathematics)

¹ Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (84, 20-letiya Otktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

² Air Force Military Training and Research Center "Air Force Academy" (54A, Starykh Bolshevikov Street, 394064 Voronezh, Russian Federation)

Predictive Appraisal of Working Capacity of Building Polymeric Elastomers by SHF-Resonance Method

Basic rules of the SHF-resonance method making it possible to appraise the dynamics of changes of amplitude-frequency characteristics of building polymeric composites of elastomer category are presented. The design concept and the principle of operation of the proposed SHF-resonance unit are given. The quantitative and qualitative combinations of factors destructively influencing on the polymer base of building composites are substantiated. Regression equations reflecting the dynamics of changes of amplitude-frequency characteristics depending on the time of destructive impacts and the stretch ratio of building composite samples have been obtained.

Keywords: resonance, degradation, elastomers, amplitude-frequency characteristics, building polymeric composites.

Основой большинства современных строительных композитов служат полимеры, обладающие рядом качеств, позволяющих их использовать во многих отраслях промышленности. Наряду с комплексом благоприятных свойств полимеры, в силу термофлуктуационной природы своих связей, неизбежно стареют, что сопровождается изменением значений их физико-механических характеристик и снижением качества. Для описания указанных деградационных процессов наибольшее распространение получили уравнения Журкова – Бисси и их модификации. Имеется ряд достаточно обширных исследований, посвященных изучению долговечности полимеров, и в частности эластомеров. Тем не менее прогнозирование свойств полимерных композитов строительного назначения в условиях совместного воздействия деструктивных факторов до сих пор является весьма сложной и важной материаловедческой задачей.

Номенклатура полимеров включает десятки тысяч наименований, и каждый вид полимера обладает только ему присущими идентификационными признаками. В соответствии с этим и деградационные процессы в различных полимерах будут происходить по-разному.

С точки зрения деградационных теорий скорость изменения качественных характеристик напрямую зависит от вида и интенсивности внешних воздействий и их сочетаний, включая и экстремальные условия.

Как показывает опыт многочисленных исследований, при изменении вида напряженно-деформированного состояния получаемые результаты скорости развития деструкции для одного и того же образца различаются. Многообразие видов деструктурирующих воздействий, синергизм их влияния и случайный характер распределения во времени являются серьезным препятствием для выведения общих закономер-

ностей деградации свойств строительных полимерных композитов.

Методика практической оценки характеристик полимерных материалов регламентируется соответствующими нормативными документами, например для аэродромных герметиков это ГОСТ 30740–2000. Следует отметить, что установление значений физико-механических характеристик для полимерных строительных материалов не является главной целью. Намного важнее выявление сроков службы указанных материалов в заданных условиях с гарантированным сохранением исходных свойств. Очевидно, что имеющиеся в настоящее время стандарты определения значений физико-механических характеристик строительных полимерных композитов нуждаются в дополнениях. Причем, на взгляд авторов, ключевыми должны являться испытания, направленные на выявление динамики деградационных процессов в заданных условиях эксплуатации.

В указанном направлении проводятся исследования, имеющие в своей основе известный принцип температурно-силовой деструкции полимерной матрицы. Очевидно, что на деградацию физико-механических характеристик строительных полимерных материалов решающее влияние оказывают температура и деформации, но вместе с тем особенности эксплуатации некоторых композитов требуют глубокого анализа совокупности большего количества влияющих факторов.

Показательной с этой точки зрения является работа полимерных герметизирующих материалов в швах дорожных и аэродромных покрытий. Многообразие климатических и эксплуатационных воздействий обуславливает значительные сложности в прогностической оценке их работоспособности. Например, достаточно

объективной является методика «условного года», моделирующая и учитывающая совокупность значений факторов, в последовательность их воздействия, возникающая при годовой эксплуатации в определенных климатических районах.

Указанная методика обеспечивает весьма жесткие условия испытаний герметика в кратчайшие сроки. Очевидно, что в такой короткий срок в полимерной матрице не завершатся химические реакции окисления-восстановления, характерные для деструкции, что, несомненно, отразится на достоверности полученных результатов.

Также следует отметить, что подавляющее большинство методик ориентировано на оценку какой-либо одной характеристики; как правило, это величина относительного удлинения и соответствующее ей напряжение, что в принципе не отражает реального состояния материала.

Объективно изменение значений физико-механических характеристик полимерных композитов является следствием структурных изменений органической составляющей. В этой связи оправдан подход к прогностической оценке работоспособности строительных полимерных композитов, основанный на выявлении структурных изменений, вызванных определенным сочетанием эксплуатационных и климатических воздействий.

В результате таких воздействий исходные значения характеристик полимерных строительных композитов претерпевают значительные изменения. Причем их динамика носит случайный характер, что крайне затрудняет прогноз сроков службы указанных материалов. Классический деградационный подход оперирует исключительно термофлуктуационными категориями, что в практическом применении весьма сложно. Подобное обстоятельство обусловило потребность в качестве новых подходах к прогностической оценке работоспособности строительных полимерных композитов. Основным направлением исследований в этой области явилась разработка методик прямого определения качественных и количественных изменений их структуры неразрушающими методами и установление связи полученных результатов с динамикой деградационных процессов.

Так, например, развитие методов и аппаратного обеспечения акустической эмиссии позволило «услышать» процессы, происходящие при деформации резин и резиноподобных материалов. Вместе с тем причину акустических эффектов весьма сложно идентифицировать, а тем более адаптировать метод к прогнозу эксплуатационной долговечности [1].

Достаточную апробацию получил метод оценки динамики структурных изменений герметика в условиях переменных значений температуры при помощи экспериментальной установки, принцип действия которой основан на регистрации изменения плотности ферромагнитного порошка (маркера) в образце испытуемого композитного материала при приложении к нему циклических нагрузжений [2].

Метод обеспечивает получение результатов, позволяющих провести сравнительную оценку битумно-полимерных и полностью полимерных герметиков по устойчивости к знакопеременным циклическим деформациям. Вместе с тем указанный метод также не является абсолютно объективным. Причин для подобного утверждения несколько. Во-первых, частицы ферромагнитного порошка являются структурообразующими центрами в полимерной или битумно-полимерной матрице, что, несомненно, сказывается на динамике изменения значений исследуемых параметров. Во-вторых, при указанном способе практически невозможно диф-

ференцировать выявленные неоднородности, поскольку концентрация маркеров может изменяться как вследствие нарушений структуры, так и при релаксационных процессах.

Сравнительно новым направлением в этой области является исследование сдвиговых волн конечной амплитуды в резиноподобных резонаторах с кубической нелинейностью. В результате этих исследований получили развитие методики, позволяющие определять вязкоупругие и нелинейные параметры резиноподобных сред по измеренным резонансным кривым. Базовой предпосылкой исследований являлся подход, основанный на модели одномерного резонатора. Изучали поведение как однородных по структуре резонаторов, так и резонаторов с локальными включениями, отличными по своим упругим свойствам от материала остального резонатора. В рамках проведенных исследований был создан численный алгоритм, позволяющий моделировать сдвиговые волны в резонаторах с учетом кубической нелинейности и релаксации среды [3]. Кроме того, был разработан метод расчета стоячих волн в резонаторе с неоднородностями произвольной формы и размера. При этом сдвиговая упругость неоднородностей могла значительно превышать упругость материала резонатора (твердые включения), быть ниже (мягкие включения) или равняться нулю (жидкие включения и полости). В ходе исследования был разработан качественный метод локализации неоднородностей в резонаторе по виду резонансных кривых и решена обратная задача определения сдвигового модуля одного из слоев двухслойного резонатора [3]. Ключевым недостатком метода являлось то, что образцы испытывали только в сжатом состоянии, растяжения не производили.

Как уже указывалось, серьезным препятствием на пути глубокого анализа структурных изменений является нелинейность изменения свойств исследуемых резиноподобных материалов в процессе испытаний. Кроме того, значительную сложность представляет решение вопросов сохранения стабильности размеров испытуемых образцов и оперативной оценки изменения их однородности.

Весьма перспективна оценка динамики изменения структуры полимерных строительных композитов по диэлектрической проницаемости, обусловленной поляризацией.

В зависимости от условий эксплуатации различают деформационную и тепловую поляризацию.

Деформационная поляризация возникает вследствие квазиупругого смещения под действием электрического поля положительных и отрицательных зарядов молекулы. Это характерно как для полярных, так и для неполярных диэлектриков, не зависит от интенсивности теплового движения и характеризуется наименьшим временем установления (10^{-14} – 10^{-12} с). Помимо этого деформационная поляризация не зависит от частоты внешнего электрического поля, но несколько меняется с температурой вследствие зависимости от плотности.

Влияние строения полимера на деформационную поляризацию в основном определяется значением дипольного момента отдельного звена макромолекулы и числом полярных групп в единице объема.

Изменения деформационной поляризации, происходящие вследствие процессов старения и окисления полимеров, обусловлены влиянием именно этих факторов на указанные величины.

Тепловая поляризация (ионная или дипольная) происходит вследствие движения слабосвязанных ионов внутри диэлектрика или ориентации постоянных диполей в электрическом поле. Этот вид поляри-

зации имеет релаксационный характер. Скорость установления дипольной поляризации в полимерах определяется временем релаксации τ , которое в среднем требуется диполу для поворота под действием внешнего поля. Значения τ зависят от строения полимера и температуры.

Диэлектрические свойства напрямую связаны со строением полимеров, поэтому их изучение является методом исследования молекулярной структуры и теплового движения в полимерах.

В конечном счете комплекс диэлектрических свойств зависит от химического состава и структуры мономерного звена, строения макроцепей и способа их укладки. От молекулярного взаимодействия в полимерах зависят подвижность свободных ионов, время релаксации и его температурная зависимость, эффективные дипольные моменты мономерного звена.

Таким образом, имеющиеся данные о структуре и молекулярно-массовом распределении исследуемых полимеров позволяют установить качественные и количественные зависимости изменения указанных характеристик от величины и продолжительности воздействующих факторов.

Именно диэлектрические свойства полимерных строительных композитов позволяют оценить скорость развития деградиационных процессов резонансным методом.

Как указывалось ранее, резонансный метод основан на использовании явления резонанса в колебательной системе и заключается в сравнении измеряемой частоты с частотой собственных колебаний контура или резонатора, заранее проградуированного. Этот метод применяется в радиочастотном диапазоне, преимущественно в области СВЧ [4].

Указанный метод весьма чувствителен не только к изменению геометрических размеров исследуемых образцов, но и к изменению их диэлектрических характеристик. Подобное обстоятельство послужило предпосылкой разработки системы мониторинга качественных изменений полимерных строительных композитов при различных сочетаниях приложенной нагрузки и температуры.

Основным прибором системы является измеритель амплитудно-частотных характеристик (АЧХ), принцип действия которого основан на регистрации частоты резонанса образца, помещенного в замкнутый цилиндрический СВЧ-резонатор, частотно зависимым узлом которого является колебательная система.

Характерной особенностью разработанного СВЧ-резонансного измерителя диэлектрических свойств герметизирующих материалов является перестраиваемый объемный резонатор, который можно рассматривать как отрезок круглого волновода, короткозамкнутый с двух сторон. На одном конце отрезка неподвижная торцевая стенка, на другом — перемещающийся короткозамыкающий поршень. При перемещении поршня изменяется длина L резонатора, вследствие чего изменяется частота его собственных колебаний. Резонанс наступает при определенных соотношениях собственных длин волн образцов и длины резонатора.

В состав установки входят: нагрузочный узел, измерительный комплекс и камера резонатора.

Нагрузочный узел включает электродвигатель со сменным редуктором, позволяющим регулировать скорость приложения нагрузки в широком диапазоне, и приводным рычагом регулируемой длины. Камера резонатора представляет собой полый цилиндр, изготовленный из меди с внутренним серебряным напылением и имеющий строго установленные размеры, характерные для начальной частоты его резонанса. Внутрь цилиндра помещают исследуемый образец, один торец которого

закреплен на подвижном поршне, а другой — на неподвижной крышке резонатора. Растягивающие деформации в образце создаются поршнем, который приводит в движение посредством кинематической связи от электродвигателя с регулируемой частотой вращения. В кинематическую цепь включены редуктор и силоизмеритель. Дополнительный видеоконтроль (с помощью видеокамеры высокого разрешения) геометрии образца позволяет дифференцировать изменения резонансной частоты, вызванные структурными неоднородностями от изменений, вызванных удлинением (укорочением) образца.

Измерительный комплекс состоит из частотомера и устройства обработки информации.

Частотомер фиксирует частоту резонатора с помещенным в нее образцом, амплитуду и фазовый сдвиг. При структурных изменениях в материале соответственно изменяются и амплитудные характеристики, связанные с дисперсией СВЧ в диэлектрике, что позволяет судить о развитии деградиационных процессов.

Многоканальный аналогово-цифровой преобразователь обрабатывает данные о величине прикладываемой нагрузки, частоте вращения вала электродвигателя, величине перемещения поршня и АЧХ образца. Отдельным каналом синхронно поступает потоковое видео, фиксирующее в реальном времени изменение геометрии образца. Устройство обработки информации создает базу данных измерений в табличном виде. Используемое программное обеспечение позволяет настраивать периодичность получения данных, от единиц в секунду до разовых в сутки.

Таким образом, по частотно зависимому изменению АЧХ образцов возможна оценка качественных изменений собственно диэлектрической проницаемости (ϵ) материала.

Методика проведения исследований включала в себя следующее.

Образцы герметиков изготавливали из одной партии материала и разделяли на три группы. Первоначально устанавливали АЧХ пустого резонатора при положении поршня, соответствующего базовой длине образца герметизирующего материала — 50 мм. Затем поршень плавно перемещали в крайнее положение, соответствующее растяжению образца на заданную величину. В процессе перемещения поршня изменялся объем резонатора, что вызывало изменение АЧХ. Для калибровки пустого резонатора указанные действия производили 3–5 раз для получения средней величины АЧХ. Далее в резонатор помещали образец испытуемого материала и проделывали указанные операции уже с образцом. В результате получали АЧХ резонатора с образцом, т. е. базовую характеристику образца с физико-механическими характеристиками, заявленными производителем.

Каждую из групп образцов подвергали своему комплексу воздействий, а именно статическому выдерживанию в растянутом состоянии при отрицательной температуре с последующей релаксацией при положительной температуре; циклическому растяжению-сжатию при положительной температуре; статическому выдерживанию в растянутом состоянии при положительной температуре и ультрафиолетовом облучении. Указанные воздействия количественно в целом соответствовали методике «условного года» рассматриваемого дорожно-климатического района.

Контроль изменения структуры образцов путем регистрации АЧХ при последовательном удлинении образца на 40% производили после $1/4$, $1/2$ «условного года», затем каждые условные полгода. При появлении внешних признаков потери работоспособности образцами — расслоений, разрывов, местных выкрашиваний

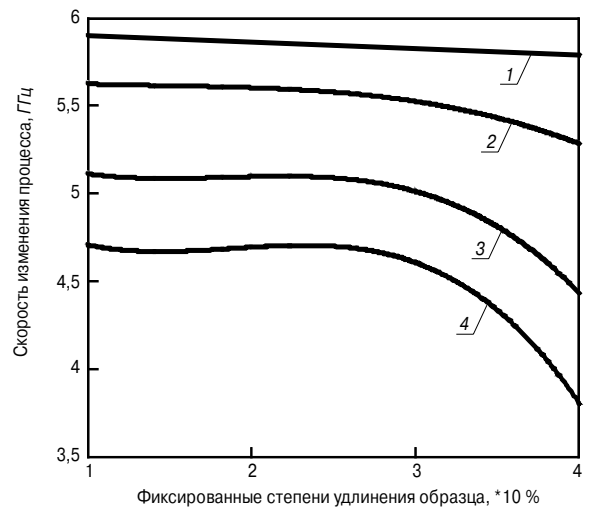
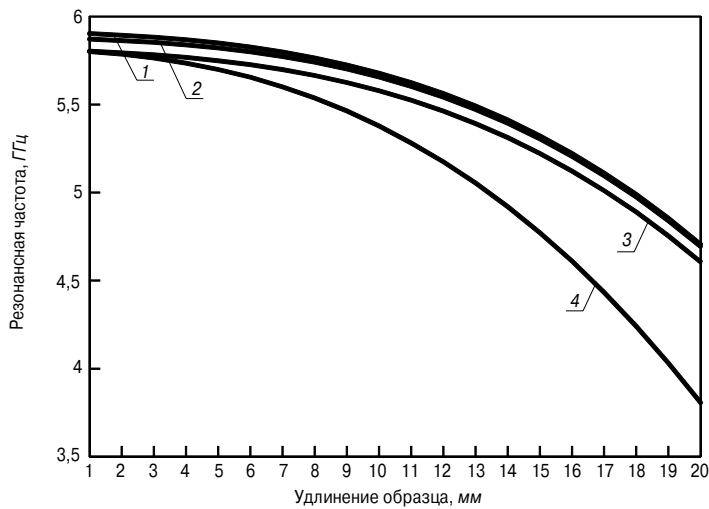


Рис. 1. Изменение АЧХ при статическом выдерживании образцов в растянутом состоянии при отрицательной температуре: 1–4 соответствуют продолжительности проведения испытаний 1^{1/2}, 2, 2^{1/2}, 3 «условных года» соответственно

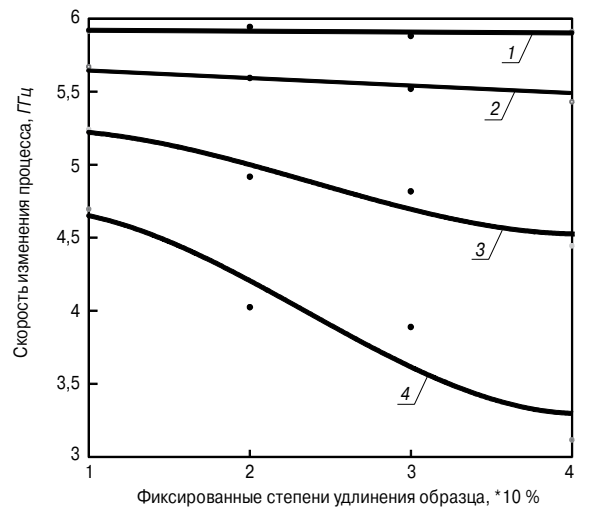
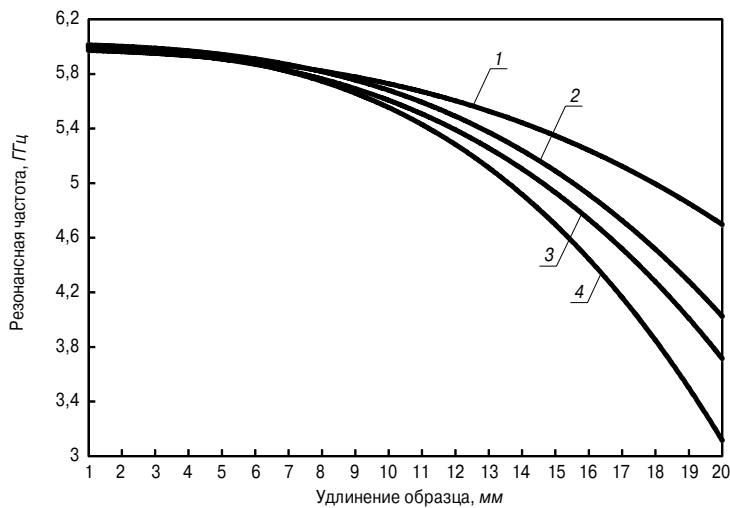


Рис. 2. Изменение АЧХ при циклическом растяжении-сжатии образцов при положительной температуре: 1–4 соответствуют продолжительности проведения испытаний 1^{1/2}, 2, 2^{1/2}, 3 «условных года» соответственно

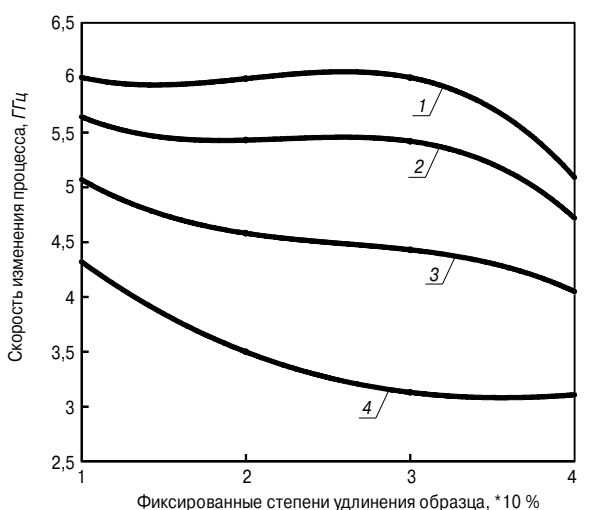
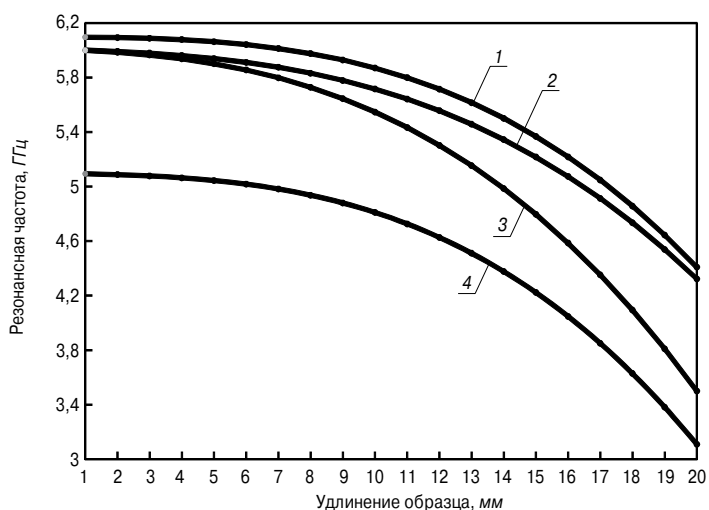


Рис. 3. Изменение АЧХ при статическом выдерживании в растянутом состоянии при положительной температуре и ультрафиолетовом облучении: 1–4 соответствуют продолжительности проведения испытаний 1^{1/2}, 2, 2^{1/2}, 3 «условных года» соответственно

испытания прекращали и фиксировали значения АЧХ, соответствующих указанному состоянию.

Следует отметить, что описанный эксперимент носил качественный характер. Цель проведения эксперимента – установление динамики изменения АЧХ испытываемых образцов от структурных изменений, вызванных определенными заданными воздействиями. Установлено, что указанные совокупности воздействий при продолжительности испытаний до одного «условного года» включительно, не оказывают значимого влияния на АЧХ образцов. А спустя указанный срок проведения испытаний начинают регистрироваться существенные изменения АЧХ.

При анализе и математической обработке экспериментальных данных были получены графики, иллюстрирующие изменения АЧХ различных групп образцов при указанных условиях испытаний и выявлены особенности в динамике их изменения, характерные для определенной совокупности воздействий. Графики представлены на рис. 1, 2, 3. Кривые 1–4 на всех рисунках соответствуют продолжительности проведения испытаний 1^{1/2}, 2, 2^{1/2}, 3 «условных года» соответственно. Динамику изменения АЧХ эффективнее всего оценивать по так называемым срезам, соответствующим различным степеням удлинения – 10, 20, 30, 40%.

Авторами по результатам регрессионного анализа АЧХ для каждой совокупности воздействий были установлены аналитические зависимости, адекватно описывающие исследуемый процесс. Отмечено, что воздействие различных деструктивных факторов вызывает различные эффекты в динамике изменения АЧХ образцов. Измерения, проведенные после «условного года» эксплуатации, показали, что наиболее заметные изменения АЧХ произошли у образцов, подвергавшихся длительному воздействию ультрафиолетового облучения (УФО) в растянутом состоянии (рис. 3). Наименее значимые изменения произошли у образцов, длительно выдерживавшихся в растянутом состоянии при отрицательной температуре (рис. 1).

Указанную динамику изменения АЧХ оценивали по уравнениям регрессии (1–12), отражающим зависимость указанной характеристики как от степени удлинения образцов, так и от продолжительности деструктивных воздействий:

– статическое выдерживание в растянутом состоянии при отрицательной температуре с последующей релаксацией при положительной температуре после:

$$1^{1/2} \text{ «условных лет»} \\ y = -0,0375x + 5,9388; \quad (1)$$

$$2 \text{ «условных лет»} \\ y = -0,0177x^3 + 0,078x^2 - 0,1313x + 5,6955; \quad (2)$$

$$2^{1/2} \text{ «условных лет»} \\ y = -0,0707x^3 + 0,39x^2 - 0,6902x + 5,4825; \quad (3)$$

$$3 \text{ «условных лет»} \\ y = -0,1062x^3 + 0,6x^2 - 1,0687x + 5,2815; \quad (4)$$

– циклическое растяжение-сжатие при положительной температуре после:

$$1^{1/2} \text{ «условных лет»} \\ y = -0,0045x + 5,9245; \quad (5)$$

$$2 \text{ «условных лет»} \\ y = -0,0489x + 5,6902; \quad (6)$$

$$2^{1/2} \text{ «условных лет»} \\ y = 0,0368x^3 - 0,2629x^2 + 0,3099x + 5,1365; \quad (7)$$

$$3 \text{ «условных лет»} \\ y = 0,0696x^3 - 0,4901x^2 + 0,5383x + 4,5328; \quad (8)$$

– статическое выдерживание в растянутом состоянии при положительной температуре и ультрафиолетовом облучении после:

$$1^{1/2} \text{ «условных лет»} \\ y = -0,1568x^3 + 0,9515x^2 - 1,7677x + 6,974; \quad (9)$$

$$2 \text{ «условных лет»} \\ y = -0,1487x^3 + 0,993x^2 - 2,1503x + 6,948; \quad (10)$$

$$2^{1/2} \text{ «условных лет»} \\ y = -0,095x^3 + 0,74x^2 - 2,045x + 6,47; \quad (11)$$

$$3 \text{ «условных лет»} \\ y = -0,0175x^3 + 0,331x^2 - 1,6915x + 5,698. \quad (12)$$

В приведенных уравнениях x соответствует величине удлинения в процентах.

Как указывалось ранее, наиболее значимое влияние на изменение АЧХ оказывает длительное выдерживание образцов при одновременном ультрафиолетовом облучении. Уже после «условного года» испытаний изменение АЧХ имело кубическую нелинейность, наиболее ярко проявляющуюся при растяжении образцов свыше 20%. Подобное обстоятельство непосредственно указывает на серьезные изменения именно в органической составляющей испытываемых материалов, поскольку влияние физических дефектов (неоднородностей) при такой степени удлинения практически не проявляется.

Таким образом, анализ полученных АЧХ для различных по типу полимерных основ используемых герметиков позволяет установить наиболее неблагоприятные сочетания воздействующих на них факторов и рекомендовать климатические зоны для их эффективной эксплуатации, т. е. обеспечить требуемую заказчиком долговечность.

В настоящее время описываемая методика проходит апробацию в промышленных условиях при проведении экспертизы полимерных композитов строительного назначения класса эластомеров, эксплуатирующихся в сложных условиях.

Список литературы

1. Барабаш Д.Е., Волков В.В. Звукоизлучение армированных полимерных композиций // *Научное обозрение*. 2006. № 1. С. 22–25.
2. Барабаш Д.Е., Сидоркин О.А., Волков В.В. Прогнозирование изменения свойств герметиков в условиях многоцикловых нагружений // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2006. № 6 (570). С. 32–36.
3. Крит Т.Б. Сдвиговые волны в резонаторе с кубической нелинейностью // *Акустика неоднородных сред. Ежегодник РАО*. 2011. Вып. 12. С. 58–69.
4. Барабаш Д.Е., Чернухин С.П., Волков В.В. Оценка деградационных процессов герметизирующих материалов частотно-резонансным методом // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2013. № 6. С. 24–28.

References

1. Barabash D.E., Volkov V.V. Acoustic effects of the reinforced polymeric compositions. *Nauchnoe obozrenie*. 2006. No. 1, pp. 22–25. (In Russian).
2. Barabash D.E., Sidorkin O. A., Volkov V.V. Forecasting of change of properties of hermetics in the conditions of multicyclic loadings *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2006. No. 6 (570), pp. 32–36. (In Russian).
3. Crete T.B. Shift of a wave in the resonator with cubic nonlinearity. *Acoustics of non-uniform environments. Akustika neodnorodnykh sred. Yearbook RAE*. 2011. Vol. 12, pp. 58–69. (In Russian).
4. Barabash D.E., Chernuhin S.P., Volkov V.V. The Estimation of degradation of hermetics a frequency-resonant method. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2013. No. 6, pp. 24–28. (In Russian).

УДК 691.175

В.Г. ХОЗИН, д-р техн. наук, Е.С. ЗЫКОВА, инженер (barblzka@mail.ru),
В.Х. ФАХРУТДИНОВА, канд. хим. наук, А.Р. ГИЗДАТУЛЛИН, инженер

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

Влияние щелочной среды бетона на эпоксидные связующие и полимеркомпозитную арматуру

Исследована стойкость различных видов эпоксидных связующих (эпоксидангидридных и эпоксидаминных) для полимеркомпозитной арматуры (ПКА) в щелочной среде бетона (смоделированной с помощью водно-цементной суспензии) при 23 и 80°C. Установлено, что сорбция водного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ сопровождается деструкцией полимеров, приводя к пластификации и, как следствие, к снижению микротвердости и повышению прочности при изгибе. Установлено, что эпоксидаминные связующие более стойки к щелочной среде бетона, чем эпоксидангидридные. Наномодифицирование связующих повышает стойкость ПКА в бетоне и ее прочность.

Ключевые слова: эпоксидные связующие, щелочная среда, полимеркомпозитная арматура, микротвердость.

V.G. KHOZIN, Doctor of Sciences (Engineering), E.S. ZYKOVA, Engineer (barblzka@mail.ru),
V.Kh. FAKHRUTDINOVA, Candidate of Sciences (Chemistry), A.R. GIZDATULLIN, Engineer
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

Influence of Alkaline Environment of Concrete on Epoxide Binders and Polymer-Composite Reinforcement

The stability of various types of epoxide binders (epoxy-anhydride and epoxy-amine) for polymer-composite reinforcement (PCR) in the alkaline environment of the concrete (simulated with the help of water-cement suspension) at 23°C and 80°C has been studied. It is established that the sorption of water solution $\text{Ca}(\text{OH})_2$ is accompanied by destruction of polymers and leads to the plasticization and, as a result, to the decrease in micro-hardness and to the increase in bending resistance. It is also established that epoxy-amine binders are more resistant to the alkaline environment than epoxy-anhydride. Nano-modification of binders increases the stability of the PCR in the concrete and its durability.

Keywords: epoxide binders, alkaline environment, polymer-composite reinforcement, micro-hardness.

Полимеркомпозитная арматура (ПКА) относится к высокоориентированным волокнистым композициям [1], связующими в которых являются эпоксидные смолы, чаще всего диановые: ЭД-20 и ее аналоги, отверждаемые, как правило, всеми производителями арматуры жидким изометилтетагидрофталевым ангидридом (изо-МТГФА). Большой интерес в качестве отвердителя представляют и ароматические амины, обеспечивающие высокую теплостойкость и устойчивость к жидким агрессивным средам [2, 3]. Основой ПКА, ответственной за физико-механические свойства, являются стеклянные, базальтовые, углеродные и арамидные волокна, применяемые в технологии в виде ровинга, смотанного в бобину. По экономическим соображениям в ПКА применяются в подавляющем большинстве стеклянные и базальтовые волокна, хотя по прочности и модулю упругости они уступают углеродным [4].

Как и большинство профилно-погонажных композитов, формование ПКА производится методом пултрузии или нидлтрузии с последующей термообработкой непрерывно формируемого стержня в трубчатых электронагревателях для ускоренного отверждения связующего [5].

По причине простоты технологии и относительно низкой себестоимости ПКА активно расширяет свою нишу на рынке строительных материалов, хотя ее применению в изгибаемых бетонных конструкциях препятствует низкий модуль упругости (в 4–5 раз ниже, чем у арматурной стали). Активному применению способствует вступивший в силу с 01.01.2014 г. ГОСТ 31938–2012 «Арматура композитная полимерная для армирования бетонных конструкций». В этом стандарте одним из требований является устойчивость ПКА к щелочам, а метод испытания заключается в длительной выдержке (30 сут) образцов в концентрированном водном растворе щелочей ($\text{NaOH} + \text{KOH}$) при 60°C. Однако реальные условия, в которых работает арматура, — цементный камень, щелочная среда которого обеспечивается $\text{Ca}(\text{OH})_2$ — продуктом гидратации портландцемента. Поэтому логично и

целесообразно моделировать агрессивную среду цементного бетона раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или, что еще точнее, «цементной вытяжкой» в виде разбавленной водно-цементной суспензии. При этом не стоит забывать, что наиболее жестким этапом работы ПКА в бетоне является тепловлажностная обработка изделий на заводах ЖБИ (обработка при $T=80\text{--}90^\circ\text{C}$ в течение 12–16 ч). Исходя из этих условий необходимо моделировать щелочную среду бетона и условия испытаний на щелочестойкость ПКА, поскольку раствор едких щелочей не может заменить раствор $\text{Ca}(\text{OH})_2$ кроме параметра $\text{pH}=13$ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$ — малорастворимое основание).

Безусловно, стойкость ПКА к агрессивным средам обеспечивает эпоксидное связующее (ЭС), которое покрывает каждое волокно и объединяет их в монолитный стержень. Поэтому основная роль в обеспечении щелочестойкости ПКА принадлежит отвержденному связующему — сетчатому эпоксидному полимеру. Следует отметить, что в процессе отверждения эпоксидных смол ангидридами образуются сложноэфирные группировки (рис. 1), которые в принципе нестойки к щелочной среде.

Однако в случае нахождения ПКА в цементном бетоне ситуация гораздо благоприятнее, чем в водном щелочном растворе, так как процесс взаимодействия происходит в граничной контактной зоне и контролируется диффузией молекул воды и ионов из пор твердого цементного камня в поверхностный слой эпоксидного связующего. Диффузия и сорбция водного раствора солей сложных эфиров, образующихся в результате реакции отверждения, частично ослабляют межмолекулярное взаимодействие в эпоксидном полимере, т. е. пластифицируют его, что должно привести к соответствующему изменению физико-механических свойств.

Цель данной работы в сравнительной оценке щелочестойкости в моделированной щелочной среде бетона двух типов связующих в ПКА: эпоксидангидридного и эпоксидаминного, в обоих случаях модифицированных углеродными нанотрубками, и арматурных стержней на их основе.

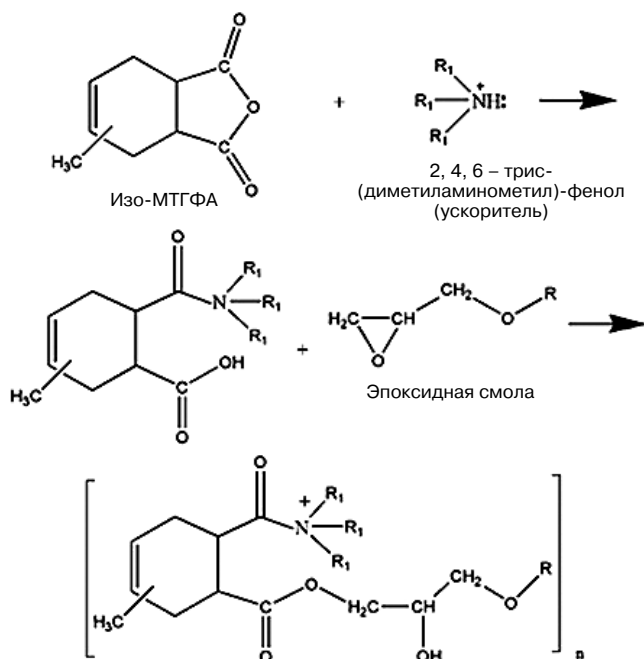


Рис. 1. Процесс отверждения эпоксидных смол ангидридом (изо-МТГФА)

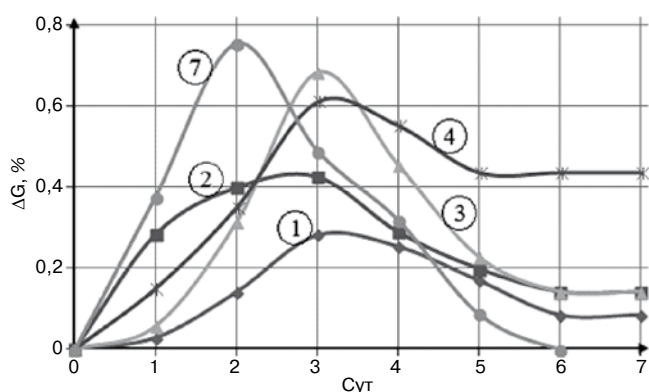


Рис. 2. Кинетика изменения массы образцов (ΔG , %) отвержденных связующих, экспонируемых в водно-щелочной среде цементной суспензии (pH=13) при 23°C (цифры у кривых – номера составов по табл. 1)

Объектами исследования авторов являлись:

1. Компаунды Этал-370У и Этал-370УП производства ЗАО ЭНПЦ «Эпитал» (Россия), состоящие из двух жидких компонентов:
 - смоляная часть – компонент А (вид эпоксидной смолы производитель не называет);
 - отвердитель (ароматический амин) – компонент Б (вид амина производитель не называет).
2. Эпоксидиановая смола ЭД-20 (Завод имени Я.М. Свердлова, г. Дзержинск).
3. Отвердитель изо-МТГФА (АО «Реахим», Москва).

Поскольку все известные ароматические амины являются твердыми кристаллическими веществами, то ЗАО ЭНПЦ «Эпитал» для их «оживления» использует, как мы полагаем, их эвтектические смеси или совмещает с жидкими растворителями, возможно, активными.

В качестве модификатора были взяты многослойные углеродные нанотрубки в виде твердого концентрата (masterbatch С S1-25) производства фирмы Arkema (Франция), эффективность которого была показана [6].

Ранее авторами были оптимизированы составы и технологические режимы отверждения. Для исследований были приготовлены составы, приведенные в табл. 1.

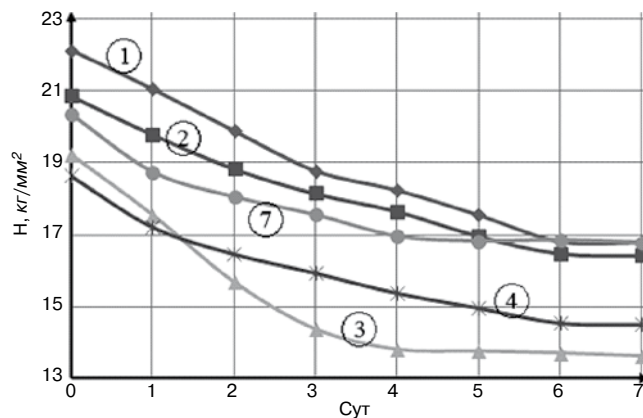


Рис. 3. Кинетика изменения микротвердости поверхности образцов (H, кг/мм²) эпоксидных связующих, экспонируемых в водно-щелочной среде цементной суспензии (pH=13) при 23°C (цифры у кривых – номера составов по табл. 1)

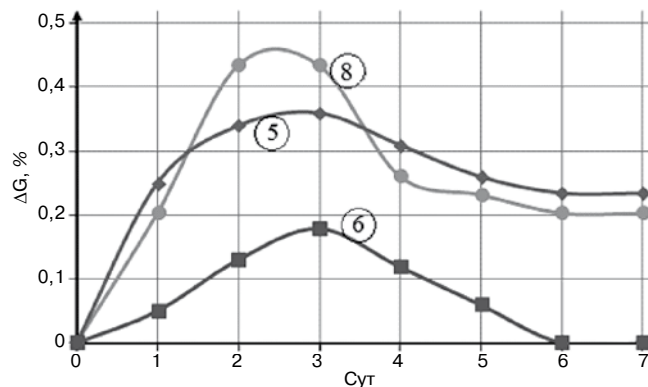


Рис. 4. Кинетика изменения массы наномодифицированных образцов (ΔG , %) отвержденных связующих, экспонируемых в водно-щелочной среде цементной суспензии (pH=13) при 23°C (цифры у кривых – номера составов по табл. 1)

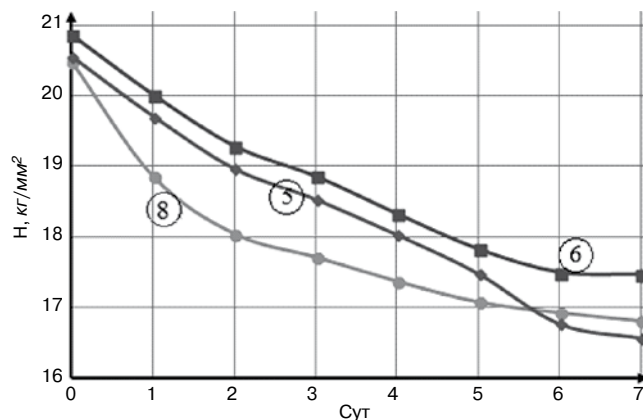


Рис. 5. Кинетика изменения микротвердости поверхности наномодифицированных образцов (H, кг/мм²) отвержденных связующих, экспонируемых в водно-щелочной среде цементной суспензии (pH=13) при 23°C (цифры у кривых – номера составов по табл. 1)

Щелочная среда была приготовлена из водного раствора цементной суспензии (pH=13). Ее влияние на образцы составов 1–8 (табл. 1) оценивали по изменению массы (ΔG , %), микротвердости (H, кг/мм²), микротвердомер НVC-1000), прочности при изгибе ($\sigma_{из}$, МПа, по ГОСТ 4648 «Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб») образцов-балочек размером 120×15×10 мм.

Режимы экспозиции образцов в «цементной вытяжке» (pH=13) следующие:

- 16 ч при 80°C;
- 7 сут при 23°C.

Таблица 1

№ состава	Состав связующего	Соотношение компонентов, мас. ч.
1	ЭД-20+отвердитель (компонент Б компаунда Этал-370У)	100:40
2	ЭД-20+отвердитель (компонент Б компаунда Этал-370УП)	100:40
3	Компаунд Этал-370У + отвердитель	100:42
4	Компаунд Этал-370УП + отвердитель	100:42
5	ЭД-20 + отвердитель (компонент Б компаунда Этал-370У) + masterbatch С S1-25	100:40
6	ЭД-20 + отвердитель (компонент Б компаунда Этал-370УП) + masterbatch С S1-25	100:40
7	ЭД-20 + изо-МТГФА + ускоритель	100:80:2
8	ЭД-20 + изо-МТГФА + ускоритель + masterbatch С S1-25	100:80:2

Как видно из рис. 2, все кинетические кривые носят экстремальный характер с четко выраженными максимумами «привеса» через трое суток экспозиции для эпоксиаминных связующих (1–4) и через двое суток для эпоксиангидридных (состав 7). При этом составы на ЭД-20, отвержденные ароматическими аминами ЗАО ЭНПЦ «Эпитал», меньше набухают в водном растворе Ca(OH)₂, чем отвержденные компаунды Этал-370 У и Этал-370 УП. Если сопоставить кривые набухания 1–4 (рис. 2) с кинетическими кривыми снижения микротвердости, то следует вывод о большей стойкости и плотности молекулярной упаковки составов 1–2 на основе ЭД-20 по сравнению с эпоксиаминными компаундами Этал-370 У и Этал-370 УП с аналогичными отвердителями.

Вполне очевидно, что при экспозиции полимеров в водно-щелочном растворе параллельно идут два процесса: диффузионное набухание, приводящее к увеличению массы образцов и их поверхностной пластификации; второе – деструкция и экстрагирование первичной и вновь образующейся золь-фракции. В наибольшей степени набухание и «вымывание» продуктов деструкции проявляется в эпоксиангидридном полимере (рис. 2, кривая 7), что свидетельствует о меньшей густоте его молекулярной сетки и вкладу щелочного гидролиза сложноэфирной группы. В то же время более низкая микротвердость компаундов ЗАО ЭНПЦ «Эпитал» (рис. 3, кривые 3, 4), чем связующих на основе ЭД-20 и тех же отвердителей – компонентов Б из компаундов

σ_{из}, МПа

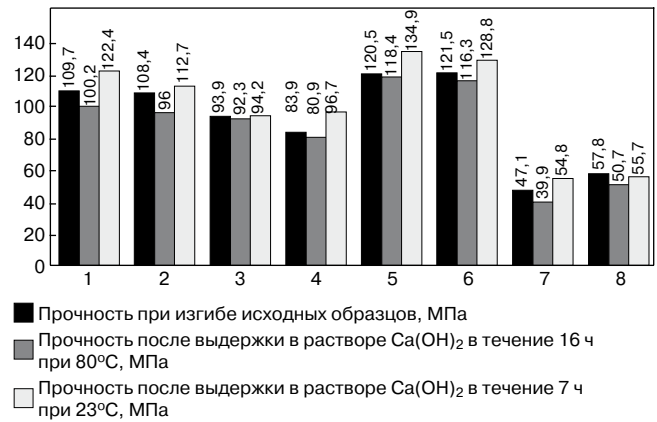


Рис. 6. Прочность при изгибе образцов-балочек эпоксидных связующих разных составов (табл. 1)

σ_{из}, МПа

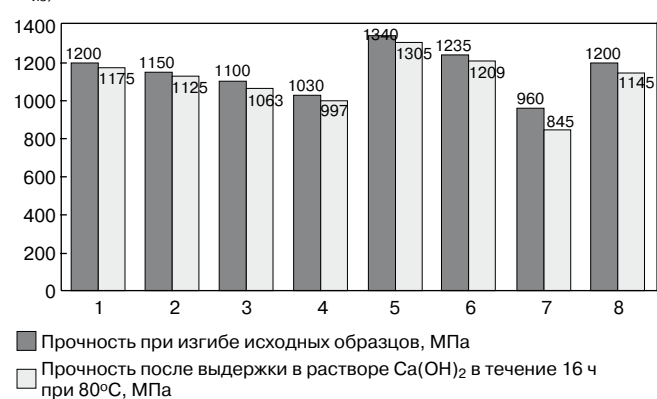


Рис. 7. Прочность при изгибе образцов ПКА на эпоксидных связующих разных составов (табл. 1)

Этал-370 У и Этал-370 УП (рис. 3, кривые 1, 2), указывает на возможное присутствие в первых органических разбавителях (пластификаторах).

Наномодифицирование эпоксидных связующих углеродными нанотрубками привело к некоторому повышению их стойкости к щелочной среде, что видно из кинетических кривых сорбции, и снижения микротвердости – характер изменения того и другого показателя во времени (ΔG, % и Н, кг/мм²) аналогичен таковому у немодифицированных полимеров.

Важным критерием стойкости эпоксидных связующих к агрессивным средам является прочность при изгибе, сильно зависящая от состояния поверхности образцов и ее дефектности. На рис. 6 представлены гистограммы σ_{из} исходных образцов; образцов, выдержанных в течение 16 ч при 80°C в водно-щелочной среде цементной суспензии, и после 7-суточной экспозиции в ней при 23°C.

Результаты испытаний всех восьми составов вполне согласуются с предыдущими данными по изменению

Таблица 2

№ состава	1	2	3	4	5	6	7	8
ΔG, %	0,35	0,38	0,58	0,67	0,37	0,34	0,42	0,41
Микротвердость, кг/мм ²	22,2/16,23	20,9/16,03	19,2/12,89	18,7/13,05	21,5/16,56	21,2/16,72	20,4/15,18	20,6/15,68

Примечание. Перед чертой – микротвердость исходных образцов; за чертой – после экспозиции.

массы образцов и их микротвердости. Выдержка в жидкой среде в случае мягкого режима – при 23°C в течение 7 сут – в результате абсорбционного пластифицирования [7, 8] приводит к закономерному увеличению прочности при изгибе и уменьшению микротвердости. При жестком режиме – экспозиции в горячем щелочном растворе – поверхностная деструкция протекает более интенсивно, превалируя над упрочнением.

Изменения массы и микротвердости образцов эпоксидных связующих после выдержки в щелочном растворе в течение 16 ч при 80°C показаны в табл. 2.

На основе исследованных составов эпоксидных связующих изготовлены в лабораторных условиях образцы стержни ПКА диаметром 5 мм, которые были испытаны на изгиб в условиях нормальной температуры и после выдержки в течение 16 ч при 80°C в цементной суспензии, имитирующей условия работы ПКА при изготовлении армированных бетонных конструкций в заводских условиях с применением ТВО (тепловлажностной обработки).

Из результатов испытаний в виде гистограмм, представленных на рис. 7, видно, что термообработка бетонных изделий, армированных ПКА, приводит к снижению прочности последней вследствие деструкции полимерного связующего на поверхности стержней. Безусловно, это может негативно отразиться и на прочности всей армированной бетонной конструкции, так как деструкция в контактной зоне может уменьшить сцепление ПКА с бетоном. Из гистограмм также следует, что наномодифицирование связующих (составы 5, 6, 8) приводит к значительному увеличению прочности на изгиб композиционного материала относительно прочности немодифицированных ПКА (1, 2, 7 соответственно).

Таким образом, щелочная среда цементного бетона является физически (набухание) и химически (деструкция) агрессивной по отношению к эпоксидным связующим полимеркомпозиционной арматуры. При этом эпоксидные полимеры (смола ЭД-20 + ароматический амин) показывают не только большую механическую прочность и твердость, но и большую стойкость к щелочной среде цементного бетона. ПКА на эпоксидной смоле ЭД-20, отвержденной ароматическими аминами ЗАО ЭНПЦ «Эпитал», имеет лучшие показатели механической прочности и стойкости к щелочной среде, чем арматурные стержни на эпоксидангидридном связующем (ЭД-20+изо-МТГФА) и на компаундах Этал-370 У и Этал-370 УП, которые, по-видимому, содержат пластификаторы или разбавители.

Введение углеродных нанотрубок фирмы Arkema в эпоксидные связующие обоих типов значительно увеличивают прочность ПКА, но в меньшей степени влияют на их стойкость к щелочной среде бетона. Термовлажностная обработка бетонных конструкций существенно снижает прочность ПКА при изгибе, поэтому для ускорения твердения бетона нужно использовать более мягкие режимы тепловлажностной обработки либо, что более целесообразно, применять ускоряющие комплексные добавки для беспрогревного твердения [9].

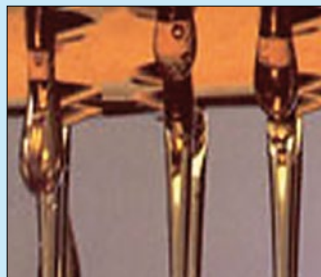
Список литературы

1. Мэттьюс Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера, 2004. 408 с.
2. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам. М.: Энергия, 1973. 92 с.
3. Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Чалых А.Е. Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты. М.: Пэйнт-Медиа, 2006. 200 с.

4. Кербер М.Л., Виноградов В.М., Головкин Г.С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учебное пособие. СПб.: Профессия, 2008. 560 с.
5. Старовойтова И.А., Хозин В.Г., Сулейманов А.М., Халикова Р.А., Зыкова Е.С., Абдулхакова А.А., Муртазина А.И., Хадеев Э.П. Одноосноориентированные армированные пластики: анализ состояния, проблемы и перспективы развития // *Известия КГАСУ*. 2012. № 4 (22). С. 332–339.
6. Хозин В.Г., Старовойтова И.А., Майсурадзе Н.В., Зыкова Е.С., Халикова Р.А., Корженко А.А., Тринеева В.В., Яковлев Г.И. Наномодифицирование полимерных связующих для конструкционных композитов // *Строительные материалы*. 2013. № 2. С. 4–10.
7. Тынный А.Н. Прочность и разрушение полимеров при воздействии жидких сред. Киев: Наукова думка, 1975. 205 с.
8. Зуев Ю.С. Разрушение полимеров под действием агрессивных сред. М.: Химия, 1972. 232 с.
9. Хозин В.Г., Морозова Н.Н., Сальников А.В. Органоминеральная добавка для беспрогревной технологии цементных бетонов // *Бетон на рубеже третьего тысячелетия: Материалы I Всероссийской конференции по проблемам бетона и железобетона*. 9–14 сентября 2001 г. Кн. 2. С. 1298–1300.

References

1. Mett'yuz F., Rolings R. Kompozitnye materialy. Mekhanika i tekhnologiya [Composite materials. Mechanics and Technology]. Moscow: Tekhnosfera. 2004. 408 p.
2. Li Kh., Nevill K. Spravochnoe rukovodstvo po epoksidnym smolam [Reference guide on epoxy resins]. Moscow: Energiya. 1973. 92 p.
3. Kochnova Z.A., Zhavoronok E.S., Chalykh A.E.. Epoksidnye smoly i otverditeli: promyshlennye produkty [Epoxy resins and curing agents: industrial products]. Moscow: Paint-Media. 2006. 200 p.
4. Kerber M.L., Vinogradov V.M., Golovkin G.S. Polimernye kompozitsionnye materialy: struktura, svoystva, tekhnologiya: uchebnoe posobie [Polymer composite materials: structure, properties, technology] Saint Petersburg: Professiya. 2008. 560 p.
5. Starovoitova I.A., Khozin V.G., Suleimanov A.M., Khalikova R.A., Zykova E.S., Abdulkhakova A.A., Murtazina A.I., Khadeev E.P. Uniaxially oriented fiber reinforced plastics: analysis of the status, problems and prospects of development. *Izvestiya KSUAE*. 2012. No. 4 (22), pp. 332–339. (In Russian).
6. Khozin V.G., Starovoitova I.A., Maisuradze N.V., Zykova E.S., Khalikova R.A., Korzhenko A.A., Trineeva V.V., Yakovlev G.I. Nanomodification of polymeric binders for structural composites. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 2, pp. 4–10. (In Russian).
7. Tynnyi A.N. Prochnost' i razrushenie polimerov pri vozdeistvii zhidkikh sred [Strength and fracture of polymers when exposed to liquid environments]. Kiev.: Naukova dumka. 1975. 205 p.
8. Zuev Yu.S. Razrushenie polimerov pod deistvom agresivnykh sred [Polymer degradation under the action aggressive environments]. Moscow: Khimiya. 1972. 232 p.
9. Khozin V.G., Morozova N.N., Sal'nikov A.V. Concrete at the turn of the third millennium. *Material of the 1st National Conference on Concrete and Reinforced Concrete*. 9–14 Sept. 2001. Vol. 2, pp. 1298–1300. (In Russian).



ЗАО «ЭНПЦ ЭПИТАЛ»

ИННОВАЦИОННЫЕ ИМПОРТОЗАМЕЩАЮЩИЕ
ЭПОКСИДНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

ЭПОКСИДНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ

- двухкомпонентное связующее с аминным отвердителем Этал®-370У
- двухкомпонентное связующее с ангидридным отвердителем Этал®-АРМ

ЭПОКСИДНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕМОНТА БЕТОНА

- грунтовки, шпатлевки для летнего и зимнего нанесения
- составы для инъектирования, для подливки под оборудование СМЭЛ
- составы для вклеивания закладных, повышения марки бетонного основания ЭТАЛАК®

ЭПОКСИДНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ

- эпоксидные наливные полы, краски, гелькоуты
- составы для высоконаполненных и паропроницаемых покрытий

ЭПОКСИДНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТОВ

- связующие для производства композитных материалов (стеклопластиков и углепластиков) методом намотки, пултрузии
- ручного и вакуумного формования, вакуумной инфузии, RTM

Производство сертифицировано по ГОСТ Р ИСО 9001-2008 №РОСС RU.ИС11.Р00698

Офис, склад, производство на одной территории по адресу:

109383, г. Москва, Шоссейная ул., 110 В.

Тел.: (499) 357-35-70, 357-35-51, 357-4681, 784-21-10

Факс-автомат для запросов: (495) 348-23-31

www.epital.ru

info@epital.ru

epital@dol.ru

Реклама

11-14 марта 2015


СТРОИТЕЛЬСТВО. АРХИТЕКТУРА

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ



СПЕШИТЕ СТАТЬ
УЧАСТНИКОМ ВЫСТАВКИ!

Информация для посетителей и участников на сайте www.vertolxpo.ru

МЕЖДУНАРОДНАЯ* 
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ
ВЫСТАВКА
СТРОИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МАТЕРИАЛОВ

Генеральный
информационный
спонсор:

Стройка
ГРУППА ГАЗЕТ

Генеральный
информационный
партнер:

BLIZKO
РЕМОНТ

Почетный
информационный
спонсор:

СтройПром
ЭКСПЕРТ

Региональный
информационный
спонсор:

Media102
Информационный
Сайт

ВЕРТОЛ
ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР **EXPO**

* В 2014 г. проект «СТИМэкспо» прошел независимый аудит и подтвердил статус международной выставки.

Ростов-на-Дону, пр. М. Нагибина, 30, тел. (863) 268-77-68

Организатор: **СТРОИТЕЛЬНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ®**
научно-технический журнал

При поддержке:



Генеральный спонсор:



27–28 МАЯ 2015
КАЗАНЬ,
РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН,
РОССИЯ
ГК «КАЗАНСКАЯ РИВЬЕРА»

ON MAY 27–28, 2015
KAZAN,
REPUBLIC OF TATARSTAN,
RUSSIA
HOTEL «KAZANSKAYA RIVYERA»



THE SCIENTIFICALLY-PRACTICAL CONFERENCE
«DEVELOPMENT OF THE CERAMIC INDUSTRY OF RUSSIA»

KERAMTEX



Партнеры МИАП КЕРАМТЭКС:



27.05.2015

Посещение нового современного предприятия – ООО «Мамадышский кирпичный завод»
VISIT TO THE NEW MODERN ENTERPRISE – MAMADYSHSKY BRICK-PLANT



28.05.2015

Пленарное заседание / Plenary session
Гала-ужин с вручением профессиональных наград в ресторане «Панорама»
CERAMIC AWARDS DINNER AT RESTAURANT «PANORAMA»

Руководитель проекта – Юмашева Елена Ивановна
Менеджер проекта – Лескова Елена Львовна

Россия, 127434, Москва, Дмитровское шоссе, д. 9, стр. 3
Тел./факс: +7 (499) 976-22-08, 976-20-36, моб. +7 (910) 437-03-98

www.rifsm.ru

mail@rifsm.ru

www.keramtex.ru



Министерство строительства, архитектуры и ЖКХ
Республики Татарстан

Центральный научно-исследовательский и проектный институт
жилых и общественных зданий (ЦНИИЭП жилища)

Объединенная редакция научно-технических журналов
«Жилищное строительство» и «Строительные материалы»®



V Международная научно-практическая конференция «Развитие крупнопанельного домостроения в России»

InterConPan-2015

International Conference of Large-panel Construction

30 июня – 3 июля 2015 г.

Казань

Тематика конференции:

- Состояние базы крупнопанельного домостроения в РФ
- Модернизация предприятий КЖД
- Оборудование и технологии
- Современные бетоны, добавки и пигменты
- Проблемы тепловлажностной обработки изделий и конструкций
- Архитектурно-планировочные решения
- Качество и энергоэффективность полносборных зданий
- Расчет и конструирование узлов сборных элементов
- Новые решения фасадов
- Применение архитектурного бетона
- Проблемы армирования ЖБК и КЖД
- Опыт строительства крупнопанельного жилья

Программа конференции включает:

Пленарное заседание

Секции:

«Архитектура и особенности проектных решений
крупнопанельных зданий»

«Гибкая технология предприятий ДСК и КЖД»

**Круглый стол «Девелоперы о проблемах
крупнопанельного домостроения»**

Посещение

Казанский ДСК

Жилой Комплекс «Светлая Долина»

NEW! ООО «Домкор Индустрия»

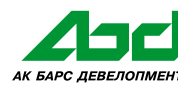
и объекты строительства в г. Набережные Челны (3 июля)

Для гостей Казани:

30 июня – экскурсия в Казанский Кремль

1 июля – экскурсия на остров-град Свияжск

Спонсоры
конференции:



Партнеры
конференции:



К проведению конференции готовятся тематические номера журналов «Жилищное строительство» №5-2015 г. и «Строительные материалы»® №5-2015 г., в которых будут опубликованы основные пленарные и секционные доклады. Представление докладов в виде статей до 15.04.2015 г.

Организационный комитет:

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

E-mail: kpd-conf@mail.ru; mail@rifsm.ru www.rifsm.ru

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

А.Е. БУРДОНОВ, инженер (slimbul@rambler.ru), В.В. БАРАХТЕНКО, инженер,
Е.В. ЗЕЛИНСКАЯ, д-р техн. наук (zelinskaelena@mail.ru), Н.А. ТОЛМАЧЕВА, инженер

Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83)

Теплоизоляционный материал на основе терморезактивных смол и отходов теплоэнергетики

Получены вспененные теплоизоляционные материалы, отличающиеся техническими и эксплуатационными характеристиками. В качестве наполнителей полимерных композиций использовали золы-уноса ОАО «Иркутскэнерго» различного химического состава, в качестве связующего – модифицированные фенолформальдегидные смолы различных марок. Максимальное содержание золы-уноса в материале составило 55 мас. %. Рассмотрены структурные особенности пеноматериала. При содержании наполнителя выше 30% наблюдаются псевдокристаллиты различной формы с круглыми и овальными порами различных размеров. В зависимости от содержания золы-уноса в композиции диаметр ячеек меняется: при наполнении 30% диаметр ячеек 2–200 мкм; 35% – 5–300 мкм; 40% – 5–400 мкм. Результаты показали, что разработанный теплоизоляционный материал имеет следующие характеристики по горючести: Г1, В2, Д1, Т1, что позволяет говорить о возможности его безопасного применения в качестве современного утеплителя. Результаты исследований позволили сделать выводы о перспективах использования данного материала в строительной индустрии.

Ключевые слова: терморезактивные смолы, зола-уноса, теплоизоляция, композиционные материалы.

A.E. BURDONOV, Engineer (slimbul@rambler.ru), V.V. BARAKHTENKO, Engineer,
E.V. ZELINSKAYA, Doctor of Sciences (Engineering) (zelinskaelena@mail.ru), N.A. TOLMACHEVA, Engineer
Irkutsk National Research State Technical University (83, Lermontov Street, Irkutsk, 664074, Russian Federation)

Heat Insulating Material on the Basis of Thermo-Reactive Resins and Waste of Heat Power Industry

Foamed heat insulating materials notable for their technical and operation characteristics have been obtained. The fly ashes of OAO "Irkutskenergo" of different chemical compositions is used as fillers of polymeric compositions; modified phenol-formaldehyde resins of different brands are used as a binder. The maximum content of fly ash in the material is 55 wt.%. Structural features of the foam material are considered. When the content of the filler is over 30%, pseudo-crystallites of various shapes with round and oval pores of different sizes are observed. Depending on the content of fly ash in the composition, the diameter of cells changes: when the filling is 30%, the diameter of cells is 2–200 mkm, 35% – 5–300 mkm, 40% – 5–400 mkm. The results show that the developed heat insulating material has following characteristics of combustibility – G1, V2, D1, T1 that makes it possible to say that it can be safely used as a contemporary insulation material. Results of the study allow us to draw conclusions about prospects of using this material in building industry.

Keywords: thermo-reactive resins, fly ash, heat insulation, composite materials.

Проблема энергосбережения сегодня относится к наиболее актуальным, что связано с общемировой тенденцией удорожания энергоносителей. Вследствие этого в жилищном и промышленном строительстве отдается предпочтение энергосберегающим технологиям.

Кроме того, важное значение имеет предотвращение и снижение негативного воздействия промышленных производств на окружающую среду, в особенности связанных с образованием отходов. Эта задача предусмотрена в плане действий по реализации «Основ государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года».

Учитывая, что многие крупнотоннажные минеральные отходы по своему химическому составу и техническим свойствам близки к природному сырью, а во многих случаях имеют и ряд преимуществ, их применение в производстве строительных материалов является одним из основных направлений снижения материалоемкости этого массового многотоннажного производства [1]. В то же время снижение объемов разрабатываемого природного сырья и утилизация отходов имеет существенное эколого-экономическое значение. В ряде случаев применение сырья из отходов промышленных предприятий полностью удовлетворяет потребности строительной отрасли в природных ресурсах.

Одним из наиболее крупнотоннажных видов отходов являются отходы теплоэнергетического комплекса, золы-уноса и золошлаковые отходы, достаточно часто применяемые в производстве строительных материалов на территории РФ.

Современное научно-техническое развитие строительной отрасли базируется на широком использовании полимерных материалов. Особое место среди них зани-

мают полимерные композиты. Расширяющиеся области их применения ставят задачу создания композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами [2–4]. Использование наполнителей позволяет изменять механические, электромагнитные, физико-химические характеристики исходного полимера, а в ряде случаев снижать стоимость конечного композитного изделия [5, 6]. Использование золы-уноса, как и многих других отходов народного хозяйства [7–8], снизит негативное воздействие на окружающую среду [9].

В Иркутском государственном техническом университете и ООО «Экостройинновации» группой научных сотрудников за счет применения модифицированного связующего на основе реакционноспособных полимеров отечественного производства и отходов теплоэнергетики, а именно золы-уноса ТЭЦ был разработан теплоизоляционный материал с улучшенными эксплуатационными и экономическими характеристиками.

В ходе эксперимента использовали золы-уноса от сжигания углей на Усть-Илимской ТЭЦ (У-И ТЭЦ), ТЭЦ-9 г. Ангарска и ТЭЦ-6 г. Братска – филиалы ОАО «Иркутскэнерго».

Определение *гранулометрического состава* золы-уноса выполнено в соответствии с ГОСТ 8735–88 и ISO 13320–2009 (табл. 1, 2)

В табл. 1 приведен гранулометрический состав золы-уноса Усть-Илимская ТЭЦ – филиал ОАО «Иркутскэнерго».

Зола-уноса Усть-Илимской ТЭЦ имеет широкое распределение частиц по размерам. Преобладают фракции менее 80 мкм, самой представительной является фракция от 20 до 50 мкм – около 35%. Наиболее мелкой фракции (менее 10 мкм) содержится около 19%.

Таблица 1

Сито, мм	> 0,315	0,25–0,315	0,14–0,25	0,1–0,14	0,08–0,1	0,05–0,08	0,02–0,05	0,01–0,02	< 0,01
Фракция, %	1,5	0	1,48	3,84	3,84	11,92	34,47	23,84	19,11

Таблица 2

Сито, мм	> 0,315	0,25–0,315	0,14–0,25	0,1–0,14	0,08–0,1	0,05–0,08	0,02–0,05	0,01–0,02	< 0,01
Фракция, %	0,5	0	1,49	4,88	5,57	16,82	36,32	17,81	16,61

Фракции размером больше 80 мкм представлены незначительно.

В табл. 2 представлен гранулометрический состав золы-уноса ТЭЦ-9 г. Ангарска.

В золе-уноса ТЭЦ-6 содержание фракции – 20 мкм превышает 60%, в то время как у других зол этот показатель значительно ниже. В целом данная зола является наиболее мелкодисперсной по сравнению с двумя другими образцами. Золо-уноса У-И ТЭЦ и ТЭЦ-9 имеют более равномерное распределение частиц по размерам и их гранулометрический состав отличается несущественно.

Золо-уноса имеют следующие величины удельной поверхности: ТЭЦ-6 – более 3000 см²/г; ТЭЦ-9 – более 1500 см²/г; Усть-Илимская ТЭЦ – 2220 см²/г.

Элементарный состав и удельная эффективность активности ЕРН позволяют использовать золы-уноса в качестве наполнителя для производства строительных материалов.

Основными критериями при выборе наполнителя были: близость источника образования золы-уноса и ее влажность, что вызвано особенностями процесса взаимодействия составляющих композиции, используемых для производства строительных материалов. Повышенное содержание влаги приводит к: неравномерному смешиванию сырья за счет наличия дополнительной водной фазы в композиции; переходу образующегося пара от избыточной влаги в структуру материала, что приводит к его неоднородности; снижению прочностных характеристик вследствие фазового перехода паровода при остывании композиции; снижению морозостойкости из-за присутствия дополнительной воды; увеличению хрупкости при нарушении сплошности и структуры поверхности материала.

Золо-уноса, по данным ОАО «Иркутскэнерго», имеют следующие показатели влажности (ГОСТ Р 8735): ТЭЦ-6 (ТЭЦ) – 0,4%; ТЭЦ-9 – 0,3%, Усть-Илимская ТЭЦ – 0,2%.

Элементарный состав зол-уноса предопределяет их свойства и область использования в производстве строительных материалов, в том числе теплоизоляционных пенокомпозиций [10, 11].

Элементарный химический анализ зол в Иркутской области в соответствии с ГОСТ 10538–87 приведен в табл. 3.

Данные по химическому составу свидетельствуют о том, что содержание отдельных оксидов в золе-уноса, получаемой от пылевидного сжигания различных видов угля, имеет значительные отклонения.

В настоящее время для получения изделий из полимерно-минеральных композитов (ПМК) применяют широкий спектр связующих, в основном подразделяющихся на два класса: термопластичные и терморективные. При создании исследуемого материала использовали смесь терморективных модифицированных фенолформальдегидных смол.

Преимуществом используемых связующих является взрывобезопасность и трудновоспламеняемость, также терморективные смолы обладают большой кратностью вспенивания.

Для изготовления высококачественных пенопластов необходимо, чтобы резольные олигомеры удовлетворяли следующим требованиям [7]:

1. Высокая реакционная способность, обеспечивающая быстрый переход в стадию резита при действии кислотных катализаторов.

2. Низкая вязкость, позволяющая проводить быстрое и качественное смешивание компонентов композиции.

3. Высокая концентрация раствора олигомера, способствующая получению пенопластов с минимальной усадкой.

Используемые полимеры полностью соответствуют указанным требованиям.

Технология получения изучаемого теплоизоляционного материала заключается в механическом смешивании составляющих композиции терморективных смол различных марок, золы-уноса, вспенивающего агента и добавок, после чего полученную композицию заливают в форму или полость конструкции. Через определенное время – 10–80 с полученная смесь вспенивается и отверждается за счет реакции поликонденсации, в результате которой образуются трехмерные пространственные макромолекулы. Реакция отверждения носит экзотермический характер и протекает с непрерывным выделением газообразных продуктов.

Золо-уноса по-разному влияют на кинетические характеристики вспенивания материала. Реакции с золой-уноса ТЭЦ-9 начинаются на 27% раньше, чем при использовании золы-уноса Усть-Илимской ТЭЦ. Реакции вспенивания композиции с использованием золы-уноса ТЭЦ-6 не происходит. Это объясняется высокой сорбционной способностью наполнителя и большей, чем у других зол, удельной поверхностью.

При проведении лабораторных исследований были получены образцы материалов с различным содержанием минерального наполнителя (золы ТЭЦ-9 и Усть-Илимской ТЭЦ), разной плотности, теплопроводности, водопоглощения и разными физико-механическими характеристиками. При проведении экспериментов получены материалы с содержанием наполнителя 55%,

Таблица 3

	Усть-Илимская ТЭЦ	ТЭЦ-9	ТЭЦ-6	
Угольный разрез	Ирша-Бородинский	Тулунский	Ирша-Бородинский	
Содержание элементов в расчете на оксиды, %	ППП*	Не более 5	Не более 5	Не более 5
	SiO ₂	54,1	63,2	45,1
	TiO ₂	1	0,6	0,3
	Al ₂ O ₃	22,5	24,6	11,4
	Fe ₂ O ₃	8,1	5,7	9
	CaO	10	2,1	24,5
	MgO	3	2,7	7,2
	K ₂ O	1,6	0,9	0,2
	Na ₂ O	1,5	0,3	0,5
	CaO _{св}	Нет	0,8–0,2	Не более 10

*ППП – потери при прокаливании.



Рис. 1. Теплоизоляционный материал на основе фенольных олигомеров и золы уноса

без значительной потери механических характеристик. При введении золы-уноса свыше 69% вспенивание не происходит, а образуется спекшаяся непористая масса с очень высокими физико-механическими характеристиками. Это связано с тем, что зола-уноса пропитывается полимером и значительная его часть не участвует в процессе вспенивании композиции. Оптимальный состав материала получен с использованием наполнителя в объеме 100 мас. ч. золы-уноса на 100 мас. ч. полимерной смеси, т. е. 40% (рис. 1).

На базе Технопарка Иркутского государственного технического университета проводили методом электронной микроскопии на двухлучевом сканирующем микроскопе JIB-4500 исследования структуры разработанных авторами композиционных пеноматериалов. Выполнены исследования образцов с различным содержанием наполнителя. В качестве связующей матрицы для композиции использовали смеси фенольных смол и вспомогательных компонентов. Рецептуры теплоизоляционных композиционных пеноматериалов приведены в табл. 4.

В качестве наполнителя для модификации использовали золу-уноса от сжигания углей на ТЭЦ-9.

На рис. 2 представлена структура композиционного теплоизоляционного материала № 1.

Видно, что структура материала неоднородная, пористая. Поры различного диаметра, в основном в интервале 5–15 мкм, в некоторых случаях достигают 200×400 мкм. Наблюдаются скопления листовидных частиц полимера неправильной формы. Материал сложен достаточно мелкими зернами неправильной формы: небольшими листочками, чешуйками и сферами. Хотя данный образец и имеет наибольшее наполнение, частиц золы-уноса на снимке не видно.

Второй исследуемый композит содержит 35% наполнителя на 100 мас. ч. полимера (рис. 3).

На снимке видны поры округлой формы. Их диаметры колеблются в интервале 20–300 мкм. Преобладают ломаные частицы неправильной формы и разных размеров. Наблюдаются образования сферической формы. Кристаллы сложены достаточно мелкими зернами неправильной формы, иногда небольшими листочками, чешуйками или волокнами. Видны гроздевидные агрегаты, которые состоят из мелких кристаллов.

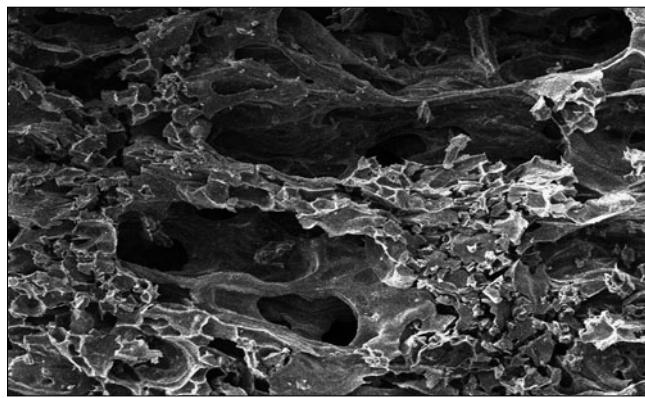


Рис. 2. Структура композиционного материала с содержанием 40% наполнителя (материал № 1, увеличение ×100)

На рис. 4 представлена структура материала № 3 с 30% содержанием наполнителя.

Материал в виде кристаллов, отличающихся формой с круглыми и овальными порами различного размера 60–200 мкм. По сравнению с предыдущими материалами морфология данного композита существенно отличается. Структура материала более плотная и равномерная.

Все исследуемые образцы имеют пористую неравномерную структуру с редкими вкраплениями наполнителя, несмотря на его высокое содержание в материале. Часть золы-уноса покрыта полимером и взаимодействие системы полимер – наполнитель является достаточно сильным, поскольку излом материала когезионного типа – по поверхности полимера. Композиты имеют большую толщину стенок (2–4 мкм) в ячейках. Наблюдаются дефекты частиц золы и обломки больших сфер. Все исследуемые образцы имеют неориентированную структуру.

Исследования физико-механических и теплотехнических характеристик плит из получаемого теплоизоляционного материала проводили в испытательном центре «СибНИИстрой» (Москва).

Для изучения физико-механических характеристик теплоизоляционного материала был выбран композит с максимальным массовым содержанием золы-уноса (100 мас. ч.). Выбор обусловлен максимальным использованием техногенных продуктов при незначительном ухудшении макроструктуры.

Все испытания выполняли в соответствии с ГОСТ 17177–94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний»; ГОСТ 7076–99 «Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». Размер плит теплоизоляционного материала 1200×300×60 мм, количество 4 шт. В результате испытания получены характеристики, представленные в табл. 5.

Полученный материал обладает хорошей теплоизоляцией при относительно высоких физико-механических характеристиках. Введение наполнителя не только улучшает механические характеристики, но и значительно снижает коррозионную активность композита. Это связано с высоким показателем pH золы (12). Введение 50% золы в композицию увеличивает показатель pH с 3,03 до 6,37, что делает получаемые изделия практически инертными и обеспечивает значительное

Таблица 4

№ п/п	Содержание компонентов композиции, мас. %							
	Смола А	Смола Б	Зола уноса	ОП-10	ПЭ (40–70)	ПЭ (70–100)	ВАГ-3	ОФК
1	20,7	8,8	41,4	2	4,1	4,1	14,8	4,1
2	22,7	9,7	35,7	2,08	4,54	4,54	16,2	4,54
3	24,3	10,4	31,25	2,11	4,86	4,86	17,36	4,86

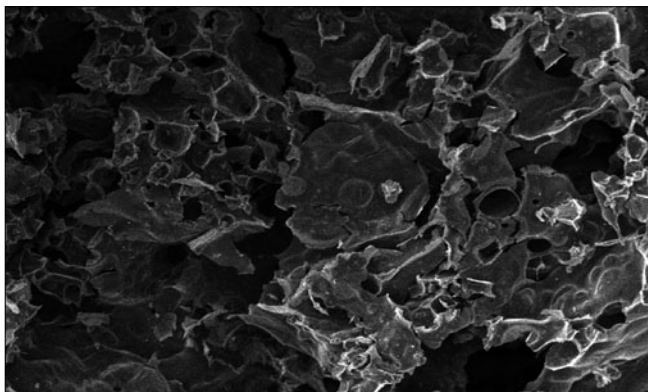


Рис. 3. Структура композиционного материала с 35% содержанием наполнителя (материал № 2, увеличение $\times 100$)

снижение коррозионной активности при контакте с другими материалами.

В независимой испытательной лаборатории пожаро-взрывобезопасности (НИЛ ПВБ) ООО «ППО ПОЖ-ЦЕНТР» (Москва) в соответствии с требованиями Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» материал ПМК проходил исследования для определения области применения в строительстве. Результаты показали, что теплоизоляционный материал обладает следующими характеристиками по горючести: Г1, В2, Д1, Т1. Полученные данные позволяют говорить о возможности его безопасного применения в качестве современного утеплителя.

Выводы

- Получены новые вспененные теплоизоляционные материалы, имеющие различные технические и эксплуатационные характеристики. В качестве наполнителей полимерных композиций опробовали три вида золы-уноса ОАО «Иркутскэнерго» различного химического состава: Усть-Илимской ТЭЦ, ТЭЦ-9 (г. Ангарск) и ТЭЦ-6 (г. Братск), в качестве связующего – фенолформальдегидные смолы различных марок. Максимальное содержание золы-уноса в материале составило 100 мас. ч. на 100 мас. ч. полимерной смеси.

- Выявлено, что структура пеноматериала изменяется с увеличением количества наполнителя. При повышении содержания наполнителя более 30% наблюдаются псевдокристаллиты различной формы с круглыми и овальными порами различных размеров. В зависимости от содержания золы-уноса в композиции диаметр ячеек меняется: при наполнении 30% диаметр ячеек 2–200 $\mu\text{м}$; 35% – 5–300 $\mu\text{м}$; 40% – 5–400 $\mu\text{м}$. Установлено, что чем больше количество золы-уноса в материале, тем больше поверхностных дефектов имеет композиция. При этом высокое наполнение композита приводит к образованию закрытоячейковой структуры материала, что положительным образом сказывается на его физико-механических характеристиках. Излом материала проходит когезионно по поверхности полимера, что указывает на высокое взаимодействие системы полимер – наполнитель.

Список литературы

1. Костюкова Е.О., Зелинская Е.В., Баракхтенко В.В., Бурдонов А.Е., Малевская Н.А., Шутов Ф.А. Вторичное использование промышленных отходов поливинилхлорида в качестве сырья для получения нового строительного материала в Иркутском регионе // *Промышленное производство и использование эластомеров*. 2010. № 2. С. 30–36.
2. Шibaева Г.Н. Отделочные композиционные материалы и изделия с улучшенными санитарно-

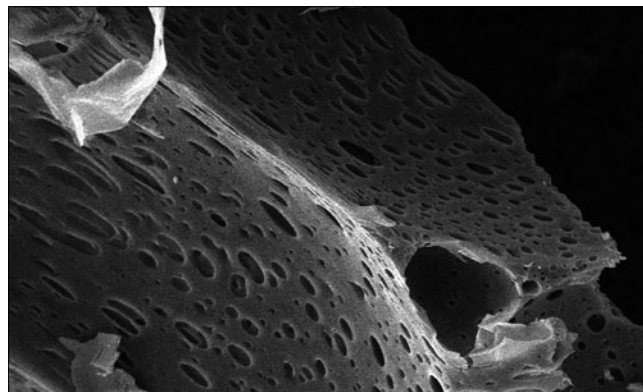


Рис. 4. Структура композиционного материала с 30% содержанием наполнителя (материал № 3, увеличение $\times 100$)

Таблица 5

Измеряемый показатель	Показатель
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	110
Предел прочности при изгибе, МПа	0,619
Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$	0,0428
Сорбционное увлажнение, мас. %	13,13
Прочность при сжатии при 10% деформации, МПа	0,19
Кислотное число, $\text{мг КОН}/\text{г}$	1,2
Линейная температура усадки при 110°C в течение 20 ч, %	-0,11

- Исследования пожарной безопасности показали, что пенокомпозит в соответствии с Федеральным законом 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (гл. 3, ст. 13) относится: к группе слабогорючих (Г1) при испытаниях по ГОСТ 30244–94; к группе умеренно воспламеняемых (В2) при испытаниях по ГОСТ 30402–96; к группе материалов с малой дымообразующей способностью (Д1) по ГОСТ 12.1.044–89; к классу умеренно опасных по показателю токсичности продуктов горения (Т2) при испытаниях по ГОСТ 12.1.044–89. Полученные данные позволяют говорить о возможности безопасного применения экспериментального материала в качестве современного утеплителя для локальных и магистральных трубопроводов и тепловых сетей.

- Полимер-минеральный теплоизоляционный материал соответствует требованиям ГОСТ 16381–77 по физико-механическим и теплотехническим характеристикам: плотность 32–120 $\text{кг}/\text{м}^3$; теплопроводность 0,031–0,04 $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$; сорбционное увлажнение 13,13 мас. %; кислотное число 1,2 $\text{мг КОН}/\text{г}$. Усадка при 110°C в течение 20 ч 0,11%, прочность при сжатии при 10% деформации 0,214–0,595 МПа, разрушающее напряжение при сжатии 0,12–0,2 МПа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (государственное задание образовательным организациям высшего образования, проект 1118).

References

1. Kostyukova E.O., Zielinskaya E.V., Barakhtenko V.V., Burdonov A.E., Malevskaya N.A., Shutov F.A. Reuse of industrial waste PVC as raw material for new construction material in the Irkutsk region. *Promyshlennoe proizvodstvo i ispol'zovanie elastomerov*. 2010. No. 2, pp. 30–36. (In Russian).
2. Shibaeva G.N. Finishing composite materials with improved sanitary-technical properties. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 6, pp. 74–75. (In Russian).



- техническими свойствами // *Строительные материалы*. 2011. № 6. С. 74–75.
3. Пекарь С.С., Хаширова С.Ю., Микитаев А.К. Новые полимерные композиционные материалы на основе полипропилена с улучшенными физико-механическими свойствами // *Научно-технические технологии*. 2011. Т. 12. № 10. С. 79–81.
 4. Бурдонов А.Е., Баракхтенко В.В., Зелинская Е.В., Сутурина Е.О., Бурдонова А.В., Головнина А.В. Физико-механические характеристики композиционных материалов на основе отходов производства с различными рецептурами // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 9 (35). С. 14–22.
 5. Алентьев А.Ю., Яблокова М.Ю. Связующие для полимерных композиционных материалов. М.: МГУ, 2010. 70 с.
 6. Липатов Ю.С. Физическая химия наполненных полимеров. М.: Химия, 1977. 304 с.
 7. Бурнашев А.И., Ашрапов А.Х., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К. Структура и свойства модифицированного древесно-полимерного композита на основе поливинилхлорида // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 104–106.
 8. Бурнашев А.И., Абдрахманова Л.А., Низамов Р.К., Хозин В.Г., Колесникова И.В., Фахрутдинова В.Х. Наномодифицированная древесная мука – эффективный наполнитель поливинилхлоридных композиций // *Строительные материалы*. 2011. № 9. С. 72–74.
 9. Зырянов В.В., Зырянов Д.В. Зола уноса – техногенное сырье. М.: ООО ИПЦ «Маска», 2009. 320 с.
 10. Костюкова Е.О., Зелинская Е.В., Баракхтенко В.В., Шутов Ф.А. Технология получения инновационного строительного материала – «пористой искусственной древесины» («ВИНИЗОЛ») в Иркутском регионе // *Фундаментальные исследования*. 2010. № 8. С. 162–165.
 11. Самусева М.Н., Шишелова Т.И. Золошлаковые материалы – альтернатива природным материалам // *Фундаментальные исследования*. 2009. № 2. С. 75–76.
 3. Pekar' S.S., Khashirov S.Y., Mikitaev A.K. New polymeric composite materials based on polypropylene with improved physical and mechanical properties. *Naukoemkie tekhnologii*. 2011. Vol. 12. No. 10, pp. 79–81. (In Russian).
 4. Burdonov A.E., Barakhtenko V.V., Zielinskaya E.V., Sutura E.O., Burdonova A.V., Golovnin A.V. Physical and mechanical properties of composite materials based on waste products with different formulations. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2012. No. 9 (35), pp. 14–22. (In Russian).
 5. Alentyev A.Y., Yablokov M.Y. Svyazuyushchie dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov [Contact for polymer composites]. Moscow: MGU. 2010. 70 p.
 6. Lipatov Y.S. Fizicheskaya khimiya napolnennykh polimerov [Physical chemistry of filled polymers]. Moscow: Khimiya. 1977. 304 p.
 7. Burnashev A.I., Ashrapov A.H., Abdrakhmanova L.A., Nizams R.K. Structure and properties of a modified wood-polymeric composite on the basis of polyvinylchloride. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 104–106. (In Russian).
 8. Burnashev A.I., Abdrakhmanova L.A., Nizams R.K., Khozin V.G., Kolesnikova I.V., Fakhrutdinova V.H. Nanomodified wood flour-effective filler PVC compositions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 9, pp. 72–74. (In Russian).
 9. Ziryayov V.V., Ziryayov D.V. Zola unosa – tekhnogennoe syr'e [Fly ash technogenic raw materials]. Moscow: «Mask». 2009. 320 p.
 10. Kostyukova E.O., Zielinskaya E.V., Barakhtenko V.V., Shutov F.A. Technology for producing innovative building material – «porous synthetic wood» («Vinizol») in the Irkutsk region. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2010. No. 8, pp. 162–165. (In Russian).
 11. Samuseva M.N., Shishelova T.I. Ash and slag – an alternative to natural materials. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2009. No. 2, pp. 75–76. (In Russian).

InterStroy Expo

Крупнейшая международная строительная выставка Северо-Запада России

18–21 марта 2015

Место проведения:
Санкт-Петербург,
КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»

Подробнее на сайте:
www.interstroyexpo.com

В рамках выставки:
IBC
Международный конгресс по строительству

Организаторы:

При поддержке:

Генеральный информационный партнер:
СТРОИТЕЛЬНЫЙ

Тел. +7 (812) 380 60 14
E-mail: build@primeexpo.ru

УДК

А.О. АДАМЦЕВИЧ, канд. техн. наук, А.В. ЕРЕМИН, инженер (aleks.eremin@gmail.com),
А.П. ПУСТОВГАР, канд. техн. наук, С.А. ПАШКЕВИЧ, канд. техн. наук

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

Исследование влияния внешних факторов на свойства портландцемента в условиях длительного хранения

Рассмотрено снижение активности портландцемента под действием эффекта предгидратации, вызываемого факторами внешней среды. Экспериментальными методами изучено влияние адсорбционной влаги на кинетику тепловыделения и фазовый состав портландцемента при хранении в герметичной и негерметичной таре. Установлено, что в нормальных условиях ($21\pm 1^\circ\text{C}$ и $55\pm 5\%$ влажности) эффект предгидратации вызывает снижение концентрации активных компонентов цемента и увеличение концентрации аморфной фазы, портландита и карбонатов кальция (арагонит, кальцит). Выявлено, что наиболее подверженными воздействию адсорбционной влаги являются фазы C_3S и полуводный гипс. Методом изотермической калориметрии изучены особенности изменения теплового потока и суммарного тепловыделения на ранних стадиях гидратации образцов, хранившихся в различных условиях в течение одного года. Установлено, что для образцов, хранившихся в герметичных условиях, наблюдается лишь незначительное снижение активности, в то время как при хранении аналогичных образцов в негерметичных условиях, активность снижается пропорционально продолжительности срока хранения.

Ключевые слова: условия хранения, портландцемент, изотермическая калориметрия, предгидратация, фазовый состав.

A.O. ADAMTSEVICH, Candidate of Sciences (Engineering), A.V. EREMIN, Engineer, (aleks.eremin@gmail.com),
A.P. PUSTOVGAR, Candidate of Sciences (Engineering), S.A. PASHKEVICH, Candidate of Sciences (Engineering)
Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, 129337, Moscow, Russian Federation)

Research in Influence of External Factors on Properties of Portland-Cement under Conditions of Long-Term Storage

The reduction in the activity of Portland-cement under the impact of pre-hydration caused by environmental factors is considered. With the use of experimental methods the influence of adsorption moisture on the kinetics of heat emission and phase composition of Portland-cement stored in hermetic and non-hermetic containers has been studied. It is established that under normal conditions ($21\pm 1^\circ\text{C}$ and $55\pm 5\%$ of humidity) the effect of pre-hydration causes a decrease in the concentration of active components of cement and an increase in the concentration of amorphous phase, Portlandite and calcium carbonates (aragonite and calcite). It is revealed that phases C_3S and hemihydrates gypsum are most affected by the adsorption moisture. The peculiarities of changes in the heat flow and total heat emission at early stages of the hydration of the samples stored under different conditions during the year were studied using the method of isothermal calorimetry. It is established that only a slight decrease of activity is observed for the samples stored under hermetic conditions, but at the same time the activity of analogous samples stored under non-hermetic conditions reduces proportionally to the time of storage.

Keywords: conditions of storage, Portlandcement, isothermal calorimetry, prehydration, phase composition.

Основным свойством, характеризующим качество портландцемента, является прочность при сжатии. Фактическую прочность цемента (установленный предел прочности при сжатии) принято называть активностью цемента. При длительном хранении цемента его активность снижается [1–4]. Так, через три месяца хранения фактическая активность цемента снижается на 10–20% от заявленной производителем [2]. Большинство исследователей, изучавших природу данного явления, сходятся в том, что основной причиной снижения активности является частичная гидратация вяжущего под действием адсорбционной влаги, поглощаемой из воздуха. Данное явление получило название «предгидратация» (prehydration [4–5]). Помимо снижения конечной прочности, предгидратация приводит к замедлению времени схватывания, изменению реологических свойств цементной системы, а также к сложности прогнозирования воздействия на цементную систему некоторых типов модифицирующих добавок [2, 5, 6].

Несмотря на то что проблема негативного влияния адсорбционной влаги на качество цемента при его хранении известна достаточно давно, проведение исследований, направленных на изучение феномена предгидратации и условий ее возникновения, не теряют своей актуальности и сейчас. Ряд научных работ, опубликованных в последние годы, был посвящен исследованию влияния атмосферной влажности и температуры окружающей среды на предгидратацию отдельных клинкерных фаз (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF), сульфатные составляющие ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\beta\text{-CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, CaSO_4), свободную известь CaO и на промышленные виды цемента, применяемые в производстве строительных смесей [5, 6].

В большинстве проанализированных работ изучение данного эффекта производится при краткосрочном хранении вяжущего в моделируемых температурно-влажностных условиях, что позволяет в течение нескольких дней получить пробу цемента с заданной степенью предгидратации. Такой подход позволяет сформировать необходимую теоретическую базу, но не обеспечивает в достаточной мере возможности разработки методологии анализа фактического качества цемента с учетом предгидратации после хранения в реальных условиях. В связи с этим в данной работе изучалось воздействие на активность цемента внешних факторов в течение длительного срока его хранения в нормальных условиях ($21\pm 1^\circ\text{C}$ и $55\pm 5\%$ влажности). Определение потери активности производилось с использованием метода изотермической калориметрии. Этот подход обусловлен тем, что тепловыделение в процессе гидратации отражает объективную динамику развития реакции с учетом минералогического состава исследуемого образца и воздействия внешних факторов [7–9].

В данной работе использовался портландцемент, изготовленный в лабораторных условиях научно-исследовательского центра LaFarge. Химический и фазовый состав исследуемого образца портландцемента определялся рентгенофлуоресцентным и количественным рентгенофазовым анализом соответственно (табл. 1). В качестве воды затворения использовалась дистиллированная вода по ГОСТ 6709–72.

Перед испытаниями образцы цемента хранились в помещении с постоянным климатом ($21\pm 1^\circ\text{C}$ и $55\pm 5\%$ влажности) в двух различных режимах:

– в герметичной таре, исключающей возможность проникновения внутрь воздуха и влаги из помещения.

Химический и фазовый состав исследуемого цемента

Химический состав			Фазовый состав		
Оксид	ω , %	σ , %	Фаза	ω , %	σ , %
SiO ₂	20,54	0,11	триклинный-C ₃ S	53,6	1,2
Al ₂ O ₃	5,45	0,05	β -C ₂ S	22,9	0,8
Fe ₂ O ₃	2,5	0,03	C ₄ AF	6,6	0,5
CaO	63,19	0,25	кубич. C ₃ A	10,2	0,6
MgO	1,55	0,03	Ca(OH) ₂	1	0,2
K ₂ O	0,84	0,03	MgO	0,5	0,1
Na ₂ O	0,173	0,03	CaCO ₃ (кальцит)	0,6	0,1
K ₂ O	0,84	0,03	CaSO ₄ ·2H ₂ O	1,3	0,2
SO ₃	3,57	0,05	CaSO ₄ ·0,5H ₂ O	2,5	0,3
P ₂ O ₅	0,08	0,01	CaSO ₄	0,5	0,1
MnO	0,04	0,01	K ₂ SO ₄	0,3	0,1
SrO	0,27	0,01			
TiO ₂	0,22	0,01			
ППП	1,57	0,05			

– в открытой таре, имитирующей условия хранения навалом.

Контрольные испытания образцов производились на 0, 30, 60, 90 и 365-е сут. хранения.

Анализ тепловыделения при гидратации производился с использованием 8-канального микрокалориметра TAM Air в течение 72 ч в изотермическом режиме. В качестве образцов использовалась цементная паста с В/Ц=0,5.

Определение химического состава осуществлялось для образцов цементного порошка методом рентгенофлуоресцентного анализа на приборе ARL QUANT'X. Анализируемые образцы портландцемента запрессовывались на таблетки из борной кислоты с нагрузкой 20 т. Съемка проводилась в вакууме.

Определение фазового состава образцов проводилось методом порошковой рентгеновской дифрактоме-

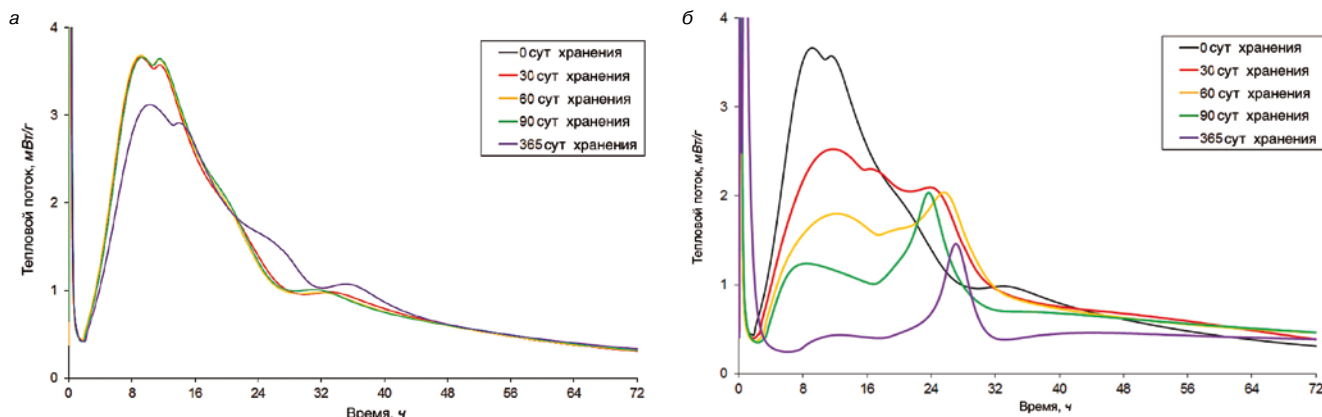


Рис. 1. Графики теплового потока при гидратации цемента: а – после герметичного хранения; б – после негерметичного хранения

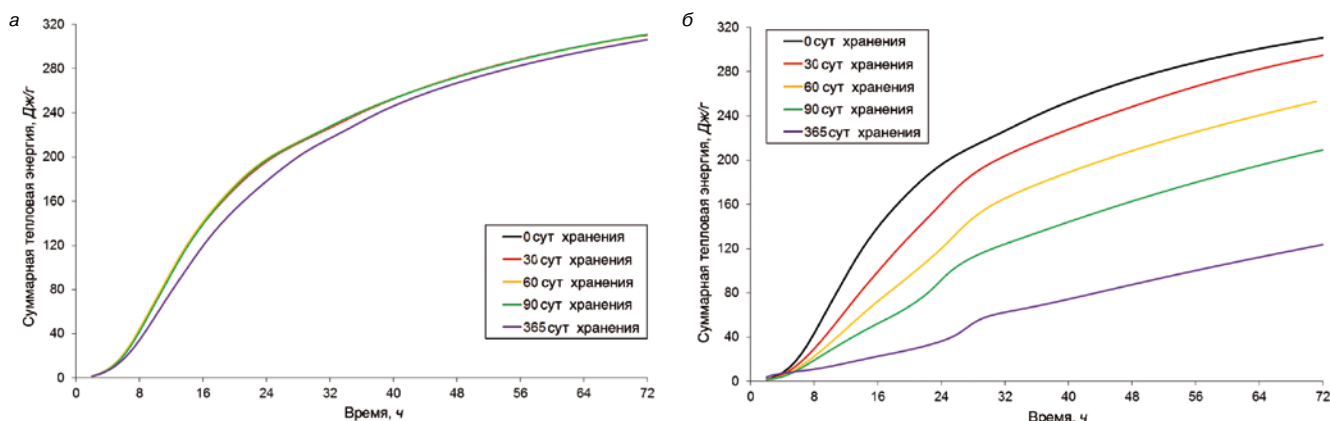


Рис. 2. Интегральные графики тепловой энергии, выделившейся при гидратации цемента: а – после герметичного хранения; б – после негерметичного хранения

три на приборе ARL X'tra. Бесстандартный количественный рентгенофазовый анализ по методу Ритвелда проводили с использованием программного обеспечения Siroquant 3 Sietronics PtyLtd [10]. Для всех фаз уточнялись параметры: шкальный фактор, смещение нуля счетчика прибора, параметры фона, профильные параметры (для фаз с содержанием более 5 мас. %), параметры элементарной ячейки [10, 11]. Определение количества аморфной фазы проводилось методом внутреннего стандарта TiO₂ (рутил) с чистотой 95%.

Для образцов, которые хранились герметично, наблюдается лишь незначительное изменение тепловыделения после 1 мес. хранения (рис. 1, а), что может быть связано с адсорбцией влаги во время помещения его в герметичную тару. При дальнейшем хранении в герметичных условиях процесс предгидратации останавливается за счет ограничения доступа воздуха и влаги, что подтверждается отсутствием изменений в кинетике тепловыделения и фазовом составе образцов на 60, 90 и 365-е сут хранения в герметичных условиях (рис. 1, а; 2, а; табл. 1). При этом для образцов, хранившихся в негерметичных условиях, наблюдается изменение кинетики процесса гидратации (рис. 1, б). На экзотермической кривой теплового потока наблюдается заметное увели-

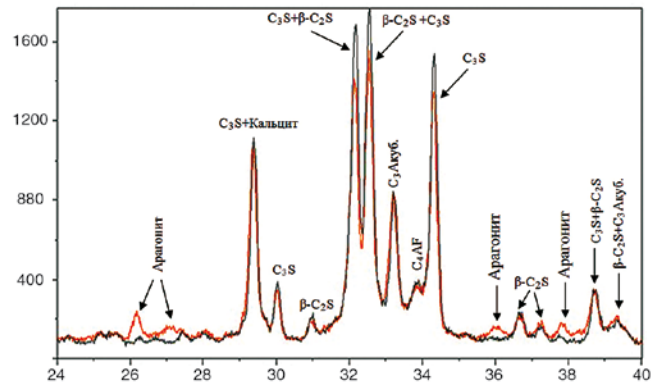


Рис. 3. Сравнение дифрактограмм образцов портландцемента на 365-е сут после герметичного (черный спектр) и негерметичного хранения (оранжевый спектр). Представлен наиболее информативный участок дифрактограмм в диапазоне 2θ=24–40°

чение индукционного периода, вызванное образованием поверхностной пленки из продуктов гидратации, приводящее к увеличению сроков схватывания и ухудшению реологических характеристик цементного теста [6]. Помимо этого, при гидратации образцов цемента, хранившихся в негерметичных условиях, наблюдается

Таблица 2

Фазовый состав образцов различного возраста негерметичного хранения

Фаза	0 сут		30 сут		60 сут		90 сут		365 сут	
	ω, %	σ, %	ω, %	σ, %	ω, %	σ, %	ω, %	σ, %	ω, %	σ, %
Триклинный C ₃ S	53,6	1,2	50	1,4	48,3	1,3	43,9	1,4	37,5	1,5
β-C ₂ S	22,9	0,8	22,9	0,9	22,4	1	21,5	1	21	1
C ₄ AF	6,6	0,5	6,4	0,5	6,2	0,5	5,9	0,5	5,5	0,5
Кубический C ₃ A	10,2	0,6	10	0,6	9,9	0,6	9,4	0,6	9,1	0,6
Ca(OH) ₂	1	0,2	2	0,3	2,5	0,3	3	0,5	1,5	0,4
MgO	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1
CaCO ₃ (кальцит)	0,6	0,1	0,6	0,1	1	0,1	1,5	0,1	1,5	0,2
CaSO ₄ ·2H ₂ O	1,3	0,2	2	0,3	2	0,3	2,5	0,3	2,6	0,4
CaSO ₄ ·0,5H ₂ O	2,5	0,3	1,8	0,3	1,8	0,3	1	0,2	0,5	0,1
CaSO ₄	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1
K ₂ SO ₄	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1
CaCO ₃ (Арагонит)	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5	0,3
Аморфная фаза (гидросиликаты кальция)	0	0	3	1	5	1	10	1	15	1,5

Таблица 3

Фазовый состав образцов различного возраста герметичного хранения

Фаза	0 сут		30 сут		60 сут		90 сут		365 сут	
	ω, %	σ, %	ω, %	σ, %	ω, %	σ, %	ω, %	σ, %	ω, %	σ, %
Триклинный C ₃ S	53,6	1,2	52,2	1,4	52	1,3	52,1	1,5	52	1,4
β-C ₂ S	22,9	0,8	22,9	0,9	22,7	0,8	22,7	0,8	22,6	0,9
C ₄ AF	6,6	0,5	6,6	0,5	6,6	0,6	6,5	0,6	6,4	0,5
Кубический C ₃ A	10,2	0,6	10,1	0,6	10,2	0,5	10	0,6	10,1	0,6
Ca(OH) ₂	1	0,2	2,5	0,3	2,6	0,3	2,7	0,3	2,8	0,3
MgO	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1
CaCO ₃	0,6	0,1	0,6	0,1	0,6	0,1	0,6	0,1	0,6	0,1
CaSO ₄ ·2H ₂ O	1,3	0,2	2,3	0,3	2,5	0,4	2,5	0,3	2,6	0,3
CaSO ₄ ·0,5H ₂ O	2,5	0,3	1,5	0,3	1,5	0,4	1,5	0,3	1,5	0,3
CaSO ₄	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1	0,6	0,1	0,6	0,1
K ₂ SO ₄	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1

снижение общего объема тепловыделения через 72 ч твердения, пропорциональное продолжительности хранения образцов в негерметичных условиях (рис. 2, б), что может свидетельствовать о снижении прочностных характеристик для данных образцов [9].

Методом количественного рентгенофазового анализа найдено, что в изученном образце портландцемента наиболее активно эффекту предгидратации подвержены полуводный гипс и триклинный C_3S (рис. 3, табл. 2), что не совсем соответствует результатам, полученным другими исследователями. В работе [5] при изучении сорбции влаги отдельными фазами портландцемента сделан вывод, что орторомбическая и кубическая фазы C_3A , полуводный гипс и свободная известь наиболее чувствительны к влажности воздуха. Полученное расхождение может быть связано с тем, что влажность при нормальных условиях хранения (50–60%) является недостаточной для начала предгидратации фазы C_3A , а также с тем, что состав и структура, а следовательно, и сорбционная активность клинкерных фаз, входящих в многокомпонентную систему промышленного портландцемента, могут существенно отличаться от аналогичных монофаз, синтезируемых в лабораторных условиях.

За первые 90 сут хранения в изученном образце портландцемента наблюдается постепенное уменьшение содержания C_3S и полуводного гипса с образованием продуктов гидратации (табл. 2). Также наблюдается небольшое увеличение содержания кальцита, которое связано с карбонизацией образующихся продуктов. На 365-е сут хранения в изученном образце наблюдается значительное уменьшение C_3S – на 32% по сравнению с исходным содержанием. Установлено, что длительное хранение

изученного образца портландцемента приводит к карбонизации продуктов предгидратации с преимущественным образованием арагонита (рис. 3).

Для изученного образца портландцемента экспериментально установлено, что содержание фаз клинкера кубического C_3A , β - C_2S , C_4AF не изменяется в течении 1 года хранения при $21 \pm 1^\circ C$ и $55 \pm 5\%$ влажности в герметичных условиях (табл. 3).

Проведенные исследования показали, что в образце портландцемента, хранившегося в негерметичной таре при нормальных условиях ($21 \pm 1^\circ C$ и влажности $55 \pm 5\%$), клинкерной фазой, наиболее подверженной воздействию адсорбционной влаги, является фаза C_3S , а также полуводный гипс. Через год у образца портландцемента, хранившегося в негерметичных условиях, наблюдается карбонизация продуктов предгидратации с образованием арагонита и кальцита.

Эффект предгидратации вызывает снижение концентрации активных компонентов цемента и увеличивает концентрацию аморфной фазы (гидросиликатов кальция) и портландита, что приводит к существенному снижению активности цемента, которое может быть косвенно определено при помощи метода изотермической калориметрии, что позволит осуществлять оперативный входной контроль качества цемента на предприятиях, производящих композитные материалы и изделия на его основе.

Работа выполнена в рамках Гранта государственной поддержки научных исследований, проводимых ведущими научными школами Российской Федерации, № 14.Z57.14.6545–НШ. Экспериментальные исследования производились с использованием оборудования ГР ЦКП МГСУ.

Список литературы

1. Richartz V.W. Effects of Storage on the Properties of Cement // *ZKG*. 1973. № 2. P. 67–74.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ, 2007. 528 с.
3. Theisen K., Johansen V. Prehydration and strength development of Portland cement // *Journal of the American Ceramic Society*. 1975. № 9. P. 787–791.
4. Adamtsevich A., Eremin A., Pustovgar A., Pashkevich S., Nefedov S. Research on the Effect of Prehydration of Portland Cement Stored in Normal Conditions, Applied Mechanics and Materials // *Trans Tech Publications*. 2014. Vol. 670–671. P. 376–381.
5. Дубина Е., Планк Й., Вадсё Л., Блэк Л., Кёниг Х. Исследование стойкости цемента при его хранении в сухих строительных смесях. Часть 1. Поверхностная гидратация клинкерных фаз, свободной извести и сульфатных фаз при поглощении влаги из воздуха // *ALITinform*. 2011. № 3. С. 38–45.
6. Дубина Е. Планк Й. Старение сухих строительных смесей при хранении. Часть 2. Воздействие влаги на состояние наполных самовыравнивающихся смесей // *ALITinform*. 2012. № 4–5. С. 86–99.
7. Мчедлов-Петросян О.П. Тепловыделение при твердении вяжущих веществ и бетонов. М.: Стройиздат, 1984. 224 с.
8. Ушеров-Маршак А.В. Калориметрия цементов и бетонов. Харьков: Колорит. 2002. 184 с.
9. Адамцевич А.О., Пашкевич С.А., Пустовгар А.П. Использование калориметрии для прогнозирования роста прочности цементных систем ускоренного твердения // *Инженерно-строительный журнал*. 2013. № 3. С. 36–42.
10. Taylor J.C. Computer Programs for Standardless Quantitative Analysis of Minerals Using the Full Powder Diffraction Profile // *Powder Diffraction*. 1991. № 6. P. 2–9.
11. Le Sao tetal G. Application of the Rietveld method to the analysis of anhydrous cement // *Cement and Concrete Research*. 2011. V. 41. P. 133–148.

References

1. Richartz V.W. Effects of Storage on the Properties of Cement. *ZKG*. 1973. No. 2, pp. 67–74.
2. Bazhenov Yu.M. *Tekhnologiya betona* [Technology of concrete]. Moscow: ASV. 2007. 528 p.
3. Theisen K., Johansen V. Prehydration and strength development of Portland cement. *Journal of the American Ceramic Society*. 1975. No. 9, pp. 787–791.
4. Adamtsevich A., Eremin A., Pustovgar A., Pashkevich S., Nefedov S. Research on the Effect of Prehydration of Portland Cement Stored in Normal Conditions, Applied Mechanics and Materials. *Trans Tech Publications*. 2014. Vol. 670–671, pp. 376–381.
5. Dubina E., Plank J., Wadse L., Black L., Kenig H. Investigation of the long-term stability during storage of cement in dry mix mortars. Part 1. Prehydration of clinker phases, free lime and sulfate phases under different relative humidities (RH). *ALITinform*. 2011. No. 3, pp. 38–45. (In Russian).
6. Dubina E., Plank J., Investigation of the long-term stability during storage of dry mix mortars. Part 2. Influence of Moisture Exposure on the Performance of Self-levelling mortars (SLU). *ALITinform*. 2012. No. 4–5, pp. 86–99. (In Russian).
7. Mchedlov-Petrosyan O.P. *Teplovydelenie pri tverdenii vyzhushchikh veshchestv i betonov* [Heat emission hardening binders and concretes]. Moscow: Stroizdat. 1984. 224 p.
8. Usherov-Marshak A.V. *Kalorimetriya tsementov i betonov* [Calorimetry cements and concretes]. Khar'kov: Kolorit. 2002. 184 p.
9. Adamtsevich A.O., Pashkevich S.A., Pustovgar A.P. Using calorimetry to predict the strength of increase accelerated hardening cement systems. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2013. No. 3, pp. 36–42. (In Russian).
10. Taylor J.C. Computer Programs for Standardless Quantitative Analysis of Minerals Using the Full Powder Diffraction Profile. *Powder Diffraction*. 1991. No. 6, pp. 2–9.
11. Le Sao tetal G. Application of the Rietveld method to the analysis of anhydrous cement. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41, pp. 133–148.

Издательство «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ» для керамической промышленности предлагает

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

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

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

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

Учебное пособие «Практикум по технологии керамики»

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

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

Книга «Керамические пигменты»

Авторы – Масленникова Г.Н., Пищ И.В.

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

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

Книга «Теоретические основы белизны и окрашивания керамики и портландцемента»

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

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

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

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

Автор – Ищук М.К.

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

Монография «Пестроцветные глины Гжельского месторождения»

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

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

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

Подробнее на www.rifsm.ru

Для приобретения специальной литературы обращайтесь в издательство

«СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»

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



Цемент и бетон сегодня. Взгляд из Польши

Представлены основные направления развития современного цемента- и бетоноведения. По результатам проведения конференции «Дни бетона» (Польша, октябрь 2014 г.) рассматриваются основные изменения ряда европейских норм по бетону и цементу. Анонсированы новые книги по бетоноведению польских авторов.

Ключевые слова: цемент, бетон, устойчивое развитие, энергосбережение, ресурсосбережение, монография.

A.V. USHEROV-MARSHAK, Doctor of Sciences (Engineering) (usherov@yandex.ua)
National University of Construction and Architecture (40, Sumskaya Street, 61002, Kharkiv, Ukraine)

Cement and Concrete Today. A View from Poland

The main directions of development of modern cement- and concrete sciences are presented. On the basis of the results of the conference "Days of Concrete" (Poland, October, 2014) main changes in some European standards for concrete and cement are considered. New books on concrete science, written by Polish authors, are announced.

Keywords: cement, concrete, sustainable development, energy saving, resource saving, monograph.

В настоящее время композиционные составы цемента и бетона постоянно усложняются, что в свою очередь усложняет механизмы гидратационного взаимодействия и взаимовлияния компонентов. Резко возросшая функциональность химических и минеральных добавок в цемент и бетон позволяет решать серьезные технологические, экономические и экологические проблемы отрасли.

Прогресс последних десятилетий сопровождается необходимостью решения новых задач, связанных с эффективным использованием компонентов, их функциональной совместимостью с целью достижения высоких заданных свойств и ресурсосбережения.

Стык цемента и бетона является предметом фундаментальных, обобщающих мировой опыт исследований. Классическими и востребованными стали труды английских [1, 2] и канадских [3] ученых, объединивших в едином ключе проблемы химии цемента и бетона. Уровень излагаемого в монографиях материала адекватен соответствующему временному периоду эволюционного по характеру развития науки и технологии этих важнейших строительных материалов.

К началу XXI в. бетоноведение и технология бетона пережили революционный скачок. Бетоны так называемого нового поколения стремительно ворвались в строительную практику. Автор наиболее прогрессивной, можно сказать, всеобщей концепции высокофункционального (High Performance Concrete – HPC) бетона П.-К. Айчин [4] убедительно доказывает функциональное единство цемента и бетона, твердеющих в присутствии эффективных добавок. Концепция HPC трансформируется в данное время в концепцию бетонов с заданной функциональностью (Defined Performance Concrete – DPC).

Очередной шаг в преодолении «цементно-бетонного барьера» сделан выдающимся материаловедом-цементником профессором В. Курдовски. В монографии, изданной на польском [5] и английском [6] языках, теоретическая концепция предшественников [1–3] развита и поднята на новый уровень. Клинкeroобразование, гидратация клинкерных фаз и цементов, цементных паст и камня, минеральные добавки, специальные цементы, традиционные и новые бетоны составляют логично взаимосвязанные разделы содержания книги. 725 страниц высокопрофессионального, сжато изложенного текста, 500 диаграмм и рисунков, 1700 библиографических ссылок – свидетельство энциклопедического характера издания. Научная и практическая значимость монографии неоспорима. Конечно, велика целесообразность ее издания на русском языке.

Значительный вклад в обеспечение взаимопонимания цементников и бетонщиков вносит организуемая Польской ассоциацией производителей цемента (руководитель профессор Ян Дея) регулярная конференция «Дни бетона». Высокий престиж конференции привлекает многих участников. В октябре 2014 г. их было более 800 человек. П.-К. Айчин открыл конференцию новым вариантом материала о «цементе сегодня, бетоне завтра», изложенного ранее в [4].



Новые книги по цементу и бетону



Автор статьи много лет тесно сотрудничает с польскими коллегами-материаловедами-стройматериальщиками. В 2000–2003 гг. преподавал в Варминско-Мазурском университете (г. Ольштын). В связи с юбилеем отдела (факультета) строительных материалов и керамики Краковской горно-металлургической академии А.В. Ушеров-Маршак отмечен специальной наградой

Доклады участников, размещенные на 1144 страницах сборника трудов конференции [7], охватывают основные направления отрасли, обобщая опыт в производстве и применении цемента в бетоне на объектах различного назначения, накопленный за два года со времени проведения предыдущей конференции.

Кстати, еще на II конференции «Дни бетона» в 2002 г. был представлен наш доклад, посвященный феноменологической концепции количественной оценки совместимости цемента с добавками в бетоне по данным калориметрии. Результативность решения все более актуальной задачи совместимости показана в статьях журналов «Цемент» (2002, 2003), «Неорганические материалы» (2004), «Строительные материалы» (2006, 2009) и др.

Отмечая по-настоящему современный уровень проводимых в Польше исследований, а также несомненный профессиональный интерес к достигнутым результатам, выделим два доклада, посвященных изменениям в евро-норме по цементу и бетону.

Проект обновляемой нормы EN 197-1:2014 «Cement – part 1: composition, specifications and conformity criteria for common cements» основан на концепции увеличения содержания в составе композиционных цементов не-клинкерных компонентов с целью снижения эмиссии CO₂ и ограничения использования натуральных компонентов за счет вторичных продуктов. Свойства таких цементов должны быть адекватны свойствам классических вяжущих. Норма расширена с пяти до шести основных типов цемента и с 27 до 37 его разновидностей. В отдельный тип – СЕМ V выделены шлакопуццолановые вяжущие. При этом в едином комплексе решаются задачи экологии, экономии энергии и приближения свойств цементов к технологическим задачам бетона.

Второй доклад, в свою очередь, рассматривает обновляемую норму EN 206:2014-04 [8]. В документ внесено много существенных изменений по классификации, терминологии, правилам применения самоуплотняющегося бетона, фибры, гранулированного шлака, рециклингового заполнителя. Обновлены концепции использования коэффициента «к» применительно к добавкам золы-уноса, микрокремнезема, молотого гранулированного шлака. Вводится новый показатель «D» с дополнительными требованиями к бетонам геотехнического назначения при устройстве свай, стен и пр. Лейтмотив термина «долговечность» изменяется в сторону понятия «устойчивое развитие». Объем данной статьи не позволяет остановиться на детализации изменений. Тем не менее профессионалам важно ознакомиться с новой редакцией EN 206:2014-04.

Соавтором обоих докладов является технический руководитель группы производителей цемента, крупного заполнителя и бетона Gorazdze концерна Heidelberg Cement Group профессор Зб. Гергичны. Под его руководством регулярно издаются обзорные материалы, подробно представляющие продукцию группы, соотносимые с научно-техническим прогрессом отрасли [9]. Небезынтересен опыт организации и функционирования своеобразного университета «Бетон» на базе современной лаборатории бетона. Здесь студенты приобретают навыки исследовательской и практической работы на стыке цемент-бетон. Основное направление работ Зб. Гергичны – золы-уноса в цементе и бетоне. Книга под таким названием в русском переводе издана в Санкт-Петербурге [10].

Чрезвычайно полезно для цементников и бетонщиков учебное пособие по EN 206:2014-04, изданное Ассоциацией производителей сборного железобетона Польши [11].

Подготовка статьи с подзаголовком «Взгляд из Польши» не случайна. Специалисты стран СНГ нашей

сложной области строительного материаловедения остро ощущают кризисные обстоятельства. Многие из них вызваны давлением зарубежных материалов и технологий. Велики потери вследствие распада прежней системы организации и финансирования научно-исследовательских работ, фактической утраты результативных научных школ и пр. В этом плане поучителен опыт польских коллег, которым удалось в сравнительно короткий исторический срок адаптироваться к новым реалиям и занять достойное место в европейской науке и технологиях «близких родственников» – цемента и бетона.

Список литературы

1. Lea F., Desch C. The chemistry of cement and concrete. London. Edw. Arnold, 1935. 48 p.
2. Ли Ф. Химия цемента и бетона. М.: Госстройиздат, 1961. 645 с.
3. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне. Физико-химическое бетоноведение. М.: Стройиздат, 1986. 278 с.
4. Aitchin P.-C. Cements of yesterday and today: concrete of tomorrow // *Cement and concrete research*. 2000. Vol. 30. No. 9, pp. 1349–1359.
5. Kurdovski W. Chemia cementy i betonu. Warszawa: PWIV, 2010, 728 s.
6. Kurdovski W. Cement and concrete. Chemistry. New York, London: Springer, 2014. 699 p.
7. Dni betonu. Tradycja i nowoczesnosc. Konferencja. Krakow: Polskicement, 2014. 1144 s.
8. PN-EN 206:2014–04. Concrete – specifications, performance, production and conformity.
9. Cement, kruszywa, beton. Rogzaje, wlasciwosci, zastosowanie. Pod kierunkiem Zb. Giergicznego. Chlorula, 2015. 399 s.
10. Гергичны Зб. Зола уноса в составе цемента и бетона. СПб.: 2004. 189 с.
11. Bajorek Cr. I inn. Beton – wymagania, wlasciwosci, produkcja i zgodnosc. Krakow. SOBT. 2014, 181 s.

References

1. Lea F., Desch C. The chemistry of cement and concrete. London. Edw. Arnold, 1935. 48 p.
2. Li F. Khimiya tsementa i betona [Chemistry of cement and concrete]. Moscow: Gosstroizdat. 1961. 645 p.
3. Ramachandran V., Fel'dman R., Boduen Dzh. Nauka o betone. Fiziko-khimicheskoe betonovedenie [The science of the concrete. Physico-chemical concrete science]. Moscow: Stroizdat. 1986. 278 p.
4. Aitchin P.-C. Cements of yesterday and today: concrete of tomorrow. *Cement and concrete research*. 2000. Vol. 30. No. 9, pp. 1349–1359.
5. Kurdovski W. Chemia cementy i betonu [Chemistry of cement and concrete]. Warszawa: PWIV. 2010. 728 p.
6. Kurdovski W. Cement and concrete. Chemistry. New York, London: Springer. 2014. 699 p.
7. Days of concrete. Tradition and modernity. Conference. Krakow: Polskicement. 2014. 1144 p. (In Polish).
8. PN-EN 206:2014–04. Concrete – specifications, performance, production and conformity.
9. Cement, kruszywa, beton. Rogzaje, wlasciwosci, zastosowanie [Cement, aggregates, concrete. Types, properties, application]. Edited by Zb. Giergicznego. Chlorula. 2015. 399 p.
10. Gergichny Zb. Zola unosa v sostave tsementa i betona [Fly ash in the cement composition and concrete]. Saint-Petersburg: 2004. 189 p.
11. Bajorek Cr. ets. Beton – wymagania, wlasciwosci, produkcja i zgodnosc [Concrete – requirements, properties, production and conformity]. Krakow: SOBT. 2014. 181 p.

М.А. ГОНЧАРОВА, д-р техн. наук (magoncharova@lipetsk.ru)
 А.В. КОПЕЙКИН, канд. техн. наук; В.В. КРОХОТИН, инженер

Липецкий государственный технический университет (398600, г. Липецк, ул. Московская, 30)

Оптимизация методики определения минералогического состава конвертерных шлаков*

Представлены результаты оптимизации определения минералогического состава конвертерных шлаков. Проведены и показаны петрографические исследования шлаков и их рентгеноструктурный анализ. Особое внимание уделено методу атомно-силовой микроскопии, который показывает, что слагающие материал минералы обладают присущими только им уникальными особенностями рельефа поверхности. Полученный опыт при дальнейших исследованиях может существенно облегчить задачу определения двухкальциевого силиката в структуре других разновидностей металлургических шлаков. Информация о морфологических особенностях строения различных минералов поможет использовать данный метод как самостоятельный при определении минералогического состава исследуемых материалов.

Ключевые слова: конвертерные шлаки, петрографические исследования, рентгеноструктурный анализ, гидратационная активность, минералогический состав.

M.A. GONCHAROVA Doctor of Sciences (Engineering) (magoncharova@lipetsk.ru),
 A.V. KOPEYKIN, Candidate of Sciences (Engineering), V.V. KROHOTIN, Engineer
 Lipetsk State Technical University (30, Moskovskaya Street, 398600, Lipetsk, Russian Federation)

Optimization of Methods for Determining Mineralogical Composition of Converter Slags

Results of the optimization of determination of converter slag mineralogical compositions are presented. Petrographic studies of slags and their X-ray structural analysis have been conducted and presented. Special attention is paid to the method of atomic-force microscopy, which shows that minerals composing the material possess inherent unique characteristics of the surface texture. In case of further studies the experience obtained will be able to significantly alleviate the problem of determining the belite in the structure of other kinds of metallurgic slags. Information about morphological features of compositions of various minerals helps to use this method as an independent one for determining the mineralogical composition of materials under investigation.

Keywords: converter slags, petrographic studies, X-ray structural analysis, hydration activity, mineralogical composition.

В настоящее время на таких российских металлургических предприятиях, как ОАО «НЛМК» (г. Липецк), ОАО «Северсталь» (г. Череповец), ОАО «ММК» (г. Магнитогорск), ОАО «НТМК» (г. Нижний Тагил), ОАО «ЗСМК» (г. Новокузнецк), ОАО «ЧМК» (г. Челябинск) и других, около 60% всей стали выплавляется по конвертерной технологии и наблюдается устойчивая тенденция к существенному увеличению выплавки кислородно-конвертерной стали.

Конвертерные шлаки являются отходами сталеплавильных процессов. На одном металлургическом комбинате выход сталеплавильных шлаков может составлять несколько миллионов тонн в год. А в мире количество образующихся в год шлаков, требующих утилизации, вырастает до нескольких сотен миллионов тонн.

Промышленность строительных материалов является крупнейшим потребителем производственных отходов, предлагая тем самым множество способов по их утилизации. Масштабы утилизации отхода зависят от его свойств. Свойства шлаков во многом обусловлены их минералогическим составом. Авторами проведены минералого-петрографические исследования отвалных конвертерных шлаков ОАО «НЛМК» с использованием инвертируемого металлографического микроскопа Olympus GX-51. Для этого были изготовлены шлифы из исследуемого материала с помощью полуавтоматического однодискового шлифовально-полировочного станка. Был получен ряд изображений микроструктуры конвертерных шлаков в отраженном свете (рис. 1). По полученным изображениям микроструктуры с помощью специального программного обеспечения прове-

дена идентификация минералов на основе цветовых и текстурных характеристик с цветовой кодировкой. После проведенной идентификации выполнялось определение размеров и площадей зерен по каждому минералу, а также расчет усредненного процентного содержания в структуре каждого из них [1].

Согласно проведенным исследованиям основной фазой конвертерного шлака является двухкальциевый силикат (C_2S , белит), содержание которого составляет 25–30%. В зависимости от химического состава и условий охлаждения C_2S выделяется в разных соотношениях зерен двух модификаций: округлых разного размера – β - C_2S и пористых продолговатых зерен прямоугольной и ромбической форм – γ - C_2S . Двухкальциевый силикат γ -модификации находится в состоянии, стабилизированном $3CaO \cdot P_2O_5$, причем постоянство кристаллической решетки γ - C_2S за счет кристаллического торможения наблюдается при содержании в шлаке P_2O_5 не менее 0,2% [1, 2].

Содержание ферритной и алюмоферритной фаз, представляющих собой твердый раствор браунмиллерита $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot FeO$ (C_4AF), двухкальциевого феррита $2CaO \cdot Fe_2O_3$ (C_2F) и железистого геленита $2CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot SiO_2$ (C_2FS), также находится в пределах 40–50%. Последнее тройное соединение можно рассматривать как продукт взаимодействия C_2S , присутствующего в шлаке в качестве основного минерала, с Fe_2O_3 . При кристаллизации эти минералы заполняют промежутки между выкристаллизовавшимися зернами C_2S и на микроскопических снимках наблюдаются в виде длиннопризматических кристаллов или трудноразличимых зерен неправильной формы, окраска которых име-

* Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки РФ в рамках базовой части (НИР 496).

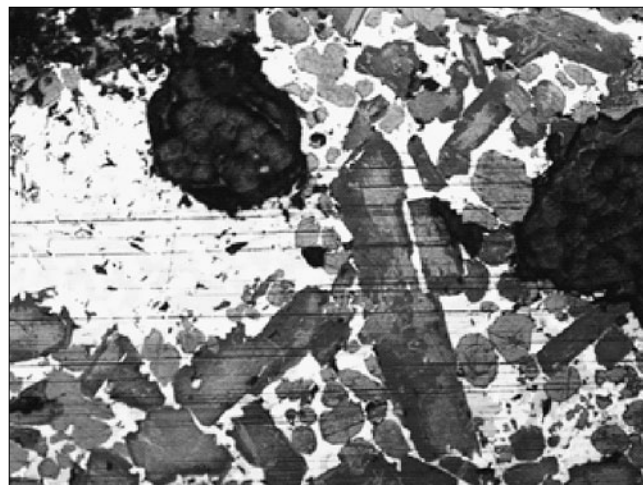
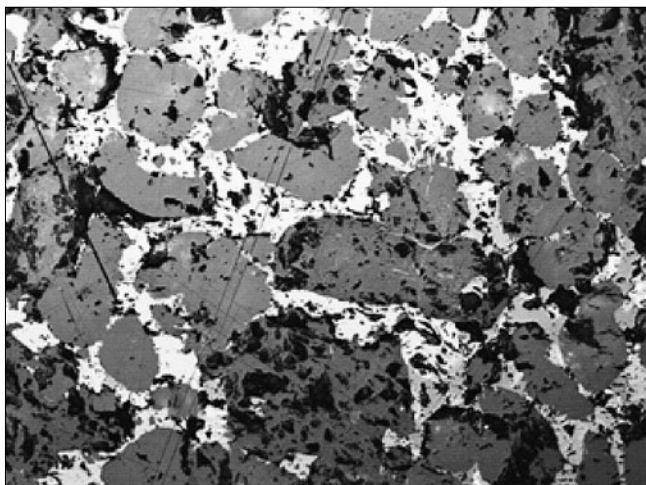


Рис. 1. Микроскопические снимки конвертерного шлака. Увеличение $\times 600$

ет большой диапазон тонов и изменяется от светло-бурой до насыщенной красно-бурой [1, 2].

Содержание в конвертерном шлаке гематита и магнетита с примесями RO-фазы в целом не превышает 20–30%. RO-фаза представляет собой твердый раствор свободных оксидов MgO, MnO, FeO в виде скопленных мелких неправильных образований с высокой отражательной способностью. Следует отметить, что периклаз (MgO) находился в конвертерном шлаке в виде кристаллов, образовавшихся, как правило, вследствие разрушения футеровки [1, 2].

Сложность расшифровки микроскопических снимков и наличие трудноразличимых минералов с небольшим и неравномерным содержанием в структуре потребовали проведения дополнительных исследований с помощью метода рентгеноструктурного анализа. Конвертерный шлак исследовался в виде зернистой массы с размером частиц не более 0,14 мм, состоящей

из множества беспорядочно ориентированных кристаллов [1, 3].

С помощью проведенного рентгеноструктурного анализа конвертерного шлака удалось дополнительно выявить содержание следующих минералов: α -модификации кварца, окерманита и кальциймагниевого феррита. Анализ рентгенограммы показал: кварц имеет наибольшую интенсивность дифракционных максимумов относительно ранее выявленных минералов, что свидетельствует о его достаточно высоком содержании в конвертерном шлаке. Кроме того, весьма важным с точки зрения дальнейших исследований шлаков на предмет гидратационной активности стало подтверждение наличия в составе конвертерного шлака β - и γ -модификации двухкальциевого силиката, геленита, двухкальциевого феррита и магнетита [1, 5].

Для изучения влияния химико-минералогического состава отвальных конвертерных шлаков на их вяжущие свойства необходимо было установить гидратационные и вяжущие свойства отдельных составляющих минералов. При этом учитывалось, что в зависимости от различия в условиях охлаждения кристаллические шлаки могут содержать соединения различных модификаций [1].

Известно пять полиморфных модификаций двухкальциевого силиката: высокотемпературная α -форма; две промежуточные стабильные α_H и α_L ; метастабильная β и низкотемпературная γ .

Переход $\beta \rightarrow \gamma$ является монотропным. В процессе охлаждения переход $\alpha \rightarrow \alpha_H$ происходит при $1425 \pm 10^\circ\text{C}$; $\alpha_H \rightarrow \alpha_L$ – при $1160 \pm 10^\circ\text{C}$; $\alpha_L \rightarrow \beta_L$ – при $630\text{--}620^\circ\text{C}$. Переход $\beta \rightarrow \gamma$ происходит в достаточно большом диапазоне температур от 300 до 525°C . Кроме того, сам переход почти никогда не протекает полностью и, как правило, получается смесь β - и γ -модификаций.

Причиной полиморфизма двухкальциевого силиката является перегруппировка ионов кислорода в элементарной ячейке под влиянием температуры. Поскольку понятие о координационном числе допускает распределение валентных связей между ионами по числу взаимно соприкасающихся между собой ионов, очевидно, что один и тот же ион в структурах различного типа может обладать различной координацией. Устойчивость структуры сохраняется до тех пор, пока ионы с противоположными зарядами соприкасаются, взаимодействуя электростатически. В случае изменения радиусов ионов, в частности в результате изменения поляризации под влиянием температуры, электростатическая устойчивость может снижаться. Наступает перемена координационного числа, т. е. переход к новому типу

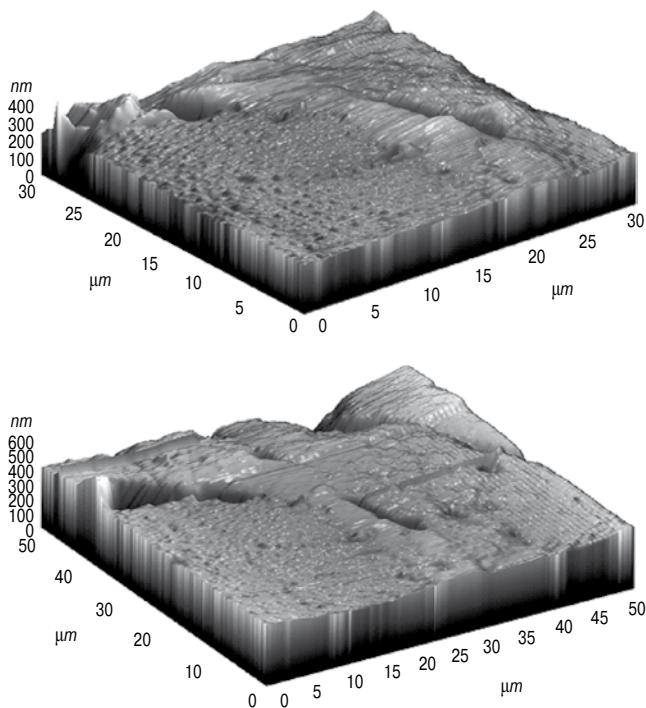


Рис. 2. Изображения нанорельефа поверхности конвертерного шлака ОАО «НЛМК»: метод атомно-силовой микроскопии, режим Height

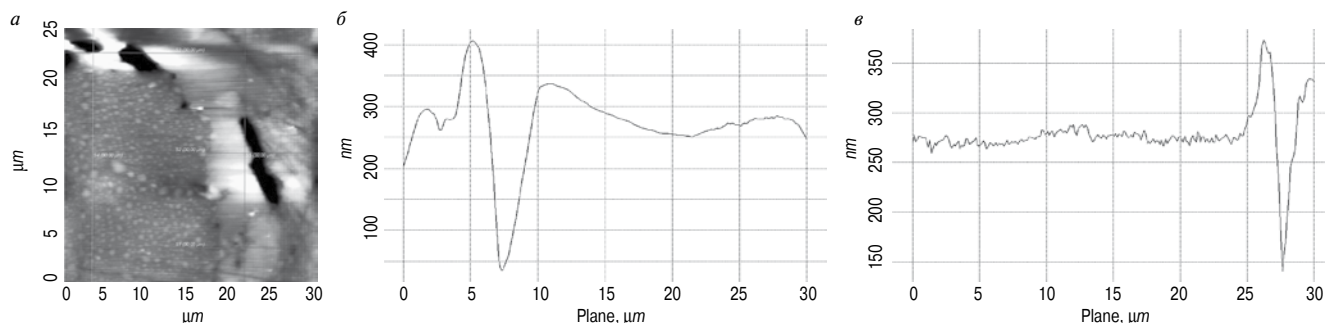


Рис. 3. Изображение сканированной поверхности отвального конвертерного шлака ОАО «НЛМК», с указанием секущих линий S1–S5 (а); профили сечений образцов-шлифов конвертерного шлака ОАО «НЛМК» соответственно секущим линиям S3 и S4 (б, в)

структуры. В кристаллической решетке двухкальциевого силиката координация кислорода по кальцию при переходе $\alpha' \rightarrow \beta \rightarrow \gamma$ сопровождается изменением координационного числа с 9–10 для α - C_2S , до 6–8 для β -модификации и до 6 для γ -модификации. Известно, что переход $\beta \rightarrow \gamma$ сопровождается увеличением удельного объема примерно на 12%, что является причиной силикатного распада шлаков [1, 3].

Основу структур полиморфных форм двухкальциевого силиката составляют изолированные кремнекислородные тетраэдры SiO_4 , связанные атомами кальция.

Двухкальциевый силикат γ -модификации имеет оливиновую структуру с элементарной ячейкой ромбической симметрии. Структура состоит из изолированных тетраэдров SiO_4 и многогранников CaO_6 .

Двухкальциевый силикат β -модификации имеет моноклинную решетку. Изолированные тетраэдры SiO_4 соединены двумя разновидностями ионов Ca^{2+} . Четыре из восьми атомов кальция Ca (I) расположены выше и ниже тетраэдров SiO_4 , образуя цепи или колонки. Эти колонки связаны между собой другими четырьмя атомами кальция Ca (II), расположенными в пустотах структуры между кремнекислородными тетраэдрами [1].

Исследования конвертерных шлаков свидетельствуют о наличии сверхдлинных и, следовательно, ослабленных связей Ca–O в β - C_2S , благодаря которым становится возможным протекание реакции гидратации. Сильные связи Ca–O в комплексе с CaO_6 в γ - C_2S , напротив, обуславливают плохую реакционную способность конвертерного шлака по отношению к воде. Преобладающее содержание той или иной модификации белита определяет реакционную способность (активность) конвертерного шлака.

В последнее время все большее внимание уделяется изучению зависимости физико-химических характеристик материалов от их наноструктуры. Установлено, что в наномасштабе именно поверхность исследуемого материала (вещества) играет определяющую роль при его взаимодействии с другими объектами. Одним из современных методов, позволяющих проводить такого рода исследования, является метод сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).

Результаты петрографического и рентгеноструктурного анализа указывают на то, что активность конвертерных шлаков определяется в основном содержанием в его структуре двухкальциевого силиката β -модификации. С большой долей уверенности можно полагать, что зерна этого гидравлически активного минерала обладают уникальными

топографическими характеристиками, особенности которых практически невозможно оценивать при петрографическом анализе с помощью электронного микроскопа, рассматривающего исследуемые объекты в плоскости. Для перехода к более локальным методам исследования твердых тел и получения возможности трехмерной оценки нанорельефа исследуемых объектов довольно часто используется одна из разновидностей методов СЗМ – метод атомно-силовой микроскопии. Было выполнено исследование отвальных конвертерных шлаков ОАО «НЛМК» с помощью такого метода в контактном режиме с применением микроскопа Solver P47 PRO. Для проведения исследования использовались образцы-шлифы, по которым предварительно было получено подробное петрографическое описание, что позволило облегчить идентификацию β - C_2S . Полученные в результате исследований изображения (сканы) представлены на рис. 2. На приведенных сканах изменение высоты рельефа отображается изменением цветовых оттенков: высокие области выглядят светлее, более низкие – темнее.

На приведенных изображениях четко прослеживаются отдельные минералы конвертерного шлака, среди которых выделяются округлые зерна двухкальциевого силиката β -модификации. Интерпретация полученных сканов исследуемой поверхности с установлением топографических особенностей составляющих материал фаз была сделана более детально. Для этого использовался программный модуль обработки изображений Nova. На рис. 3 приведено изображение поверхности отвального конвертерного шлака с нанесенными вертикальными и горизонтальными линиями, указывающими направления сечений.

Анализ полученных профилей поверхности конвертерного шлака свидетельствует о существенных различиях в рельефе двухкальциевого силиката β -модифи-

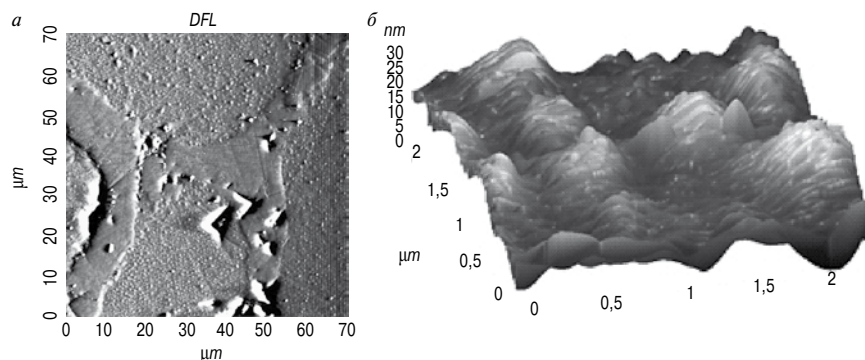


Рис. 4. Изображения исследуемой поверхности β - C_2S : а – общие виды исследуемых областей (площадки размером 70×70 и 30×30 мкм); б – поверхность минерала (площадки размером 13×13 и 2,5×2,5 мкм)

кации и окружающей его фазы. Поверхность β - C_2S , как правило, находится в одной плоскости и часто пронизана мельчайшими игольчатыми образованиями высотой до 20–25 нм. Топография окружающей фазы, напротив, достаточно сложна, имеются впадины глубиной до 200 нм, перепады по высоте колеблются от 100 до 300 нм, при этом поверхность является гладкой, а показатель шероховатости не превышает 4–5 нм. Следует также отметить, что локальная твердость минералов на рассматриваемых участках неодинакова и распределена по поверхности исследуемого материала неравномерно. Об этом свидетельствует разноразное расположение минералов по высоте: зерна β - C_2S находятся ниже уровня окружающей фазы, так как, по видимому, они менее твердые и их отделение при шлифовке происходило более интенсивно. Зоны перехода между фазами, как правило, представляют собой впадины глубиной 150–200 нм, что в определенной степени может указывать на их морфологическую разнородность.

Для более подробного изучения морфологического строения двухкальциевого силиката β -модификации в наномасштабе на его поверхности были выделены и исследованы участки размером 13×13 и 3×3 мкм. Полученные изображения приведены на рис. 4.

В результате исследования поверхности двухкальциевого силиката β -модификации были получены следующие усредненные статистические показатели основных характеристик рельефа:

- объем выборки 65536
- максимальная высота образования 56,7878 нм

- средняя высота образований 29,5705 нм
- средняя шероховатость поверхности, S_a ... 3,62435 нм
- среднеквадратическое отклонение, S_q ... 4,68926 нм

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что слагающие материал минералы на наноуровне обладают присущими только им уникальными особенностями морфологического строения. При исследовании с помощью сканирующего зондового микроскопа сталеплавильных шлаков конвертерного производства ОАО «НЛМК» были определены основные характеристики нанорельефа гидравлически активного минерала β - C_2S . Это позволило производить более точную в сравнении с петрографическим анализом идентификацию минерала в общей структуре шлаков.

Полученный опыт при дальнейших исследованиях может существенно облегчить задачу определения двухкальциевого силиката в структуре других разнородностей металлургических шлаков. Накопление информации о морфологических особенностях строения различных минералов на наноуровне поможет в дальнейшем использовать данный метод как самостоятельный при определении минералогического состава исследуемых материалов. На данный же период такого рода оценка может носить скорее уточняющий характер, чем основной, ввиду того что локализованное рассмотрение поверхности исследуемого материала не дает информации о количественном содержании в нем того или иного минерала. Полученные результаты позволяют сделать предположение о существовании взаимосвязи между морфологическими особенностями строения исследуемых минералов и их гидратационной активностью.

Список литературы

1. Гончарова М.А. Системы твердения и строительные композиты на основе конвертерных шлаков. Воронеж: ВГАСУ, 2012. 136 с.
2. Гончарова М.А., Чернышов Е.М. Формирование систем твердения композитов на основе техногенного сырья // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 60–64.
3. Кудеярова Н.П., Гостищева М.А. Гидратационная активность минералов сталеплавильных шлаков в автоклавных условиях // *Строительные материалы*. 2009. № 8. С. 34–35.
4. Бондаренко Г.В., Грызлов В.С., Каптюшина А.Г. Методика получения многокомпонентного минерального вяжущего на основе техногенных отходов промышленности // *Строительные материалы*. 2012. № 3. С. 26–29.
5. Бондаренко Г.В., Каптюшина А.Г. Использование отходов в производстве строительных материалов // *Строительные материалы*. 2008. № 2. С. 38–40.
6. Калачев В.В., Пушкарская О.Ю., Губанова Л.Н. Техногенные отходы металлургии – сырьевая база для минерально-шлаковых композиционных вяжущих // *Материалы V Международной научно-технической конференции*. Волгоград. 2009. Ч. 1. С. 114–120.
7. Артамонова А.В. Вяжущие вещества на основе шлаков электросталеплавильного производства // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 11–13.
8. Хазеев Д.Р., Гордина А.Ф., Маева И.С., Яковлев Г.И., Бурьянова А.Ф. Влияние техногенных дисперсных отходов на структуру и свойства композитов на основе сульфата кальция // *Строительные материалы*. 2011. № 6. С. 6–7.

References

1. Goncharova M.A. Sistemy tverdeniya i stroitel'nye kompozity na osnove konvertornykh shlakov [System hardening and building composites based on converter slag]. Voronezh: VGASU, 2012. 136 p. (In Russian).
2. Goncharova M.A., Chernyshev E.M. Formation systems hardening of composites based on man-made materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 60–64. (In Russian).
3. Kudyarova N.P., Gostisheva M.A. Hydration activity of steel slag minerals in autoclave conditions. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 8, pp. 34–35. (In Russian).
4. Bondarenko G.V., Gryzlov V.S., Kaptuyshina A.G. Procedure for the preparation of multicomponent mineral binder based on man-made industrial chemicals. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 3, pp. 26–29. (In Russian).
5. Bondarenko G.V., Kaptuyshina A.G. Use of waste in construction materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 2, pp. 38–40. (In Russian).
6. Kalachev VV, Gunners OY, Gubanov LN Technogenic waste industry – resource base for mineral slag composite binders. *Proceedings of the V International scientific and technical conference*. Volgograd. 2009. Part 1, pp. 114–120. (In Russian).
7. Artamonova A.V. Binders based electric steelmaking slag. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 5, pp. 11–13. (In Russian).
8. Hazeev D.R., Gordina A.F., Maeva I.S., Yakovlev G.I., Buryanova A.F. The influence of technogenic particulate waste on the structure and properties of composites based on calcium sulfate. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2011. No. 6, pp. 6–7. (In Russian).

Н.А. МИТИНА, канд. техн. наук (mitinana@tpu.ru), В.А. ЛОТОВ, д-р техн. наук, А.В. СУХУШИНА, магистрант
Национальный исследовательский Томский политехнический университет (634050, г. Томск, пр. Ленина, 30)

Жидкость затворения для магнезиального вяжущего

Представлены результаты получения раствора бикарбоната магния $Mg(HCO_3)_2$ методом искусственной карбонизации под давлением диоксида углерода суспензий из разных магнезиальных порошков. Установлено, что оптимальными условиями для получения водного раствора бикарбоната магния с высокой концентрацией являются давления CO_2 9 атм и исходная суспензия на основе каустического брусита. Использование водного раствора бикарбоната магния в качестве жидкости затворения магнезиальных цементов позволило получить гидравлическое магнезиальное вяжущее повышенной водостойкости, способное твердеть как на воздухе, так и в воде.

Ключевые слова: жидкость затворения, диоксид углерода, карбонизация, магнезиальное вяжущее.

N.A. MITINA, Candidate of Sciences (Engineering), V.A. LOTOV, Doctor of Sciences (Engineering), A.V. SUKHUSHINA, MA Student
National Research Tomsk Polytechnic University (30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation)

Mixing Liquid for a Magnesia Binder

Results of obtaining magnesium bicarbonate $Mg(HCO_3)_2$ by the method of carbonization of suspensions from different magnesia powder under the carbon dioxide pressure are presented. It is established that optimal conditions for obtaining the water solution of magnesium bicarbonate with high concentration are CO_2 pressure of 9 atm and an initial suspension on the basis of caustic brucite. The use of the water solution of magnesium bicarbonate as mixing liquid for magnesia cements makes it possible to obtain the hydraulic magnesia binder of high water resistance capable to solidify both on air and in the water.

Keywords: mixing liquid, carbon dioxide, carbonization, magnesia binder.

Согласно классическим представлениям магнезиальное вяжущее из каустических магнезиальных порошков, затворяемых растворами солей магния, является воздушным вяжущим веществом. В воде или влажной среде прочность затвердевшего материала резко падает [1], и твердение такого вяжущего возможно только на воздухе.

С момента открытия и применения магнезиального цемента и изделий на его основе по настоящее время [2] исследователи работают над проблемой снижения гигроскопичности магнезиального камня и повышения его водостойкости. Основной причиной повышенной гигроскопичности и низкой водостойкости данного материала является образование водорастворимых кристаллогидратов — гидроксохлоридов и гидроксосульфатов магния, которые возникают в результате магнезиального твердения при взаимодействии каустического магнезита с растворами солей — хлоридами и сульфатами магния и составляют основу традиционного магнезиального камня. Фаза оксихлорида (оксисульфата) магния нестабильна при длительном контакте с водой, что приводит к выщелачиванию через растворение хлорида (сульфата) магния из цементной фазы, оставляя гидроксид магния в качестве связующего материала, однако он не способен образовывать структуры твердения [3].

Для повышения водостойкости применяются различные методы: изменяют состав и концентрацию жидкости затворения магнезиального вяжущего, применяют совместные растворы хлоридов и сульфатов магния [4, 5]. Также установлено, что введение в состав цементного теста добавок ионов трехвалентного железа в виде тонкоизмельченной железной руды с содержанием трехвалентного оксида железа до 65% [6], а также золя гидроксида железа в составе модифицирующей добавки [7] положительно влияет на повышение водостойкости магнезиального камня. Использование добавок силикатсодержащих магнезиальных пород, таких как серпентинит и диопсид, также улучшает водостойкость магнезиального цемента [8, 9].

Повышение водостойкости возможно и при взаимодействии атмосферного углекислого газа с гидроксохлоридом магния, в результате чего на частицах кристаллогидратов образуется поверхностный слой хлоркарбоната

магния $Mg(OH)_2 \cdot 2MgCO_3 \cdot MgC_{12} \cdot 6H_2O$ [10], который замедляет выщелачивание хлорида магния из цемента [3].

Приведенные способы повышения водостойкости магнезиального цемента и изделий на его основе не исключают образования в продуктах гидратации и твердения водорастворимых веществ, так как все исследования основаны на применении в качестве жидкости затворения растворов солей магния. Радикальным способом повышения водостойкости магнезиального цемента, по нашему мнению, является синтез в продуктах твердения магнезиального вяжущего веществ, нерастворимых в воде. Можно утверждать, что в повышении водостойкости основную роль играет затворитель как один из компонентов вяжущей системы.

На основании предварительных исследований [11, 12] предложен принципиально новый состав жидкости затворения, в основе которого лежит водный раствор бикарбоната магния (БКМ) $Mg(HCO_3)_2$.

Бикарбонат, или гидрокарбонат магния $Mg(HCO_3)_2$ — это вещество, способное находится в стабильном состоянии только в растворе. Его присутствие в воде наряду с бикарбонатом кальция определяет временную жесткость воды [13], которая устраняется при кипячении и осаждении труднорастворимых углекислых солей кальция и магния. Гидрокарбонаты кальция и магния не стабильны, разложение этих соединений начинается при достаточно низкой температуре 15–20°C и определяется количеством растворенной углекислоты. С данным явлением в природе связано отложение травертинов при выходе богатых карбонатами подземных вод на дневную поверхность. В кристаллическом твердом состоянии бикарбонат магния можно получить только при температуре 0°C и давлении газа CO_2 18 атм [14].

Целью настоящих исследований является определение параметров получения водного раствора бикарбоната магния для использования его в качестве жидкости затворения магнезиального вяжущего.

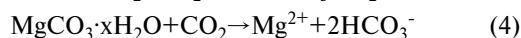
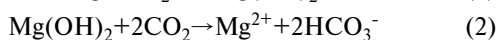
В соответствии с поставленной целью необходимо определить параметры процесса карбонизации для получения водного раствора бикарбоната магния с максимальной концентрацией и установить влияние полученных растворов БКМ на свойства магнезиального вяжущего.

Таблица 1

Материал	Содержание оксидов, мас. %							Сумма
	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MnO	Δ m _{пр}	
Магнезит Савинского месторождения								
Исходный	46,88	1,6	0,59	0,85	0,8	0,29	50,26	101,27
Прокаленный при 800°C	75,64	3,18	–	4,24	–	–	16,94*	100
Брусит Кульдурского месторождения								
Исходный	63,91	1,9	2	1,06	0,19	–	30,94	100
Прокаленный при 800°C	92,54	2,75	2,9	1,53	0,28	–	–	100

Примечание. * ППП каустического магнезита, обожженного при 800°C, связаны с наличием неразложившегося MgCO₃ с дефектной структурой.

Раствор бикарбоната магния получают в результате осуществления нескольких последовательных реакций, происходящих при повышенном давлении в реакторе:



Раствор бикарбоната магния можно получить также по способам, описанным в работах [15, 16].

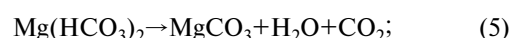
При получении растворов бикарбоната магния в качестве исходных компонентов использовались каустический магнезит марки ПМК-75 на основе магнезитовой породы Савинского месторождения (Иркутская обл.) и каустический брусит на основе бруситовой породы Кульдурского месторождения (Хабаровский край) с содержанием активного MgO 75,64 и 92,54 мас. % соответственно (табл. 1). Используемые в работе каустические магнезиальные порошки получены обжигом указанных магнезиальных пород при температуре 800°C на предприятии ООО «Сибирские порошки» (г. Иркутск).

При получении раствора бикарбоната магния в данной работе применялся способ искусственной карбонизации разбавленной суспензии MgO при давлении диоксида углерода 3–11 атм, который осуществлялся в автоклаве при температуре 25°C [17]. С целью активации процесса карбонизации использовалась добавка карбоната натрия (каустической соды) в количестве 2,5% от массы каустического магнезиального порошка. Na₂CO₃ здесь выступает в качестве катализатора процесса и, участвуя в образовании конечных продуктов, способствует образованию продукта реакции в виде двойной неустойчивой соли Na₂Mg(CO₃)₂·nH₂O. В соответствии с законом равновесных концентраций эта двойная соль при обратимой реакции распадается на исходные компоненты с образованием MgCO₃ с дефектной структурой, а Na₂CO₃ вновь вступает в реакцию с Mg(OH)₂ и MgCO₃ в присутствии CO₂.

Автоклав герметично закрывали и подавали чистый CO₂ под давлением 3–11 атм. Время карбонизации 20 мин. Для более эффективного протекания процесса автоклав снабжен мешалкой, которая перемешивает раствор сразу после подачи газа. По окончании процесса карбонизации полученный раствор бикарбоната магния вместе с нерастворенным осадком извлекался из автоклава и подвергался анализу.

Концентрация бикарбоната магния в водном растворе определялась по методу выпаривания. После полного осаждения тонкой фракции осадка и просветления раствора из него берется аликвота объемом 50 мл, переносится в сосуд из термостойкого стекла и нагревается до температуры кипения. Кипячение раствора проводи-

ли до полного испарения жидкой фазы. По массе полученного твердого остатка MgCO₃ (5) рассчитывалась концентрация бикарбоната магния в соответствии с формулой (6):



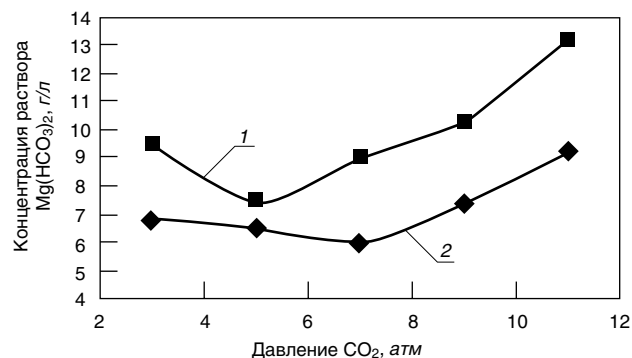
$$C_{\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2} = \frac{M_{\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2} \cdot m_{\text{осадка}}}{M_{\text{MgCO}_3} \cdot V}, \quad (6)$$

где C_{Mg(HCO₃)₂} – концентрация бикарбоната магния, г/л; M_{Mg(HCO₃)₂}, M_{MgCO₃} – молярная масса бикарбоната магния, карбоната магния, г/моль; m_{осадка} – масса твердого остатка после выпаривания, г; V – объем аликвоты, л.

Кроме того, определяли концентрацию ионов магния Mg²⁺ в растворе с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Данные исследования проводились на спектрометре iCAP6300 Duo в Центре управления научно-исследовательским оборудованием Томского политехнического университета. Для сравнения количество ионов магния в растворе определяли химическим титриметрическим методом.

Для оценки реакционной способности жидкости затворения определялась концентрация ионов бикарбоната в растворе в соответствии с РД 52.24.493–2006 «Массовая концентрация гидрокарбонатов и величина щелочности поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. Методика выполнения измерений титриметрическим методом».

По вышеописанной методике в результате карбонизации каустических порошков в автоклаве получили растворы бикарбоната магния при давлении 3–11 атм при средней температуре 25°C. Проанализировав данные (см. рисунок), установлено, что концентрация раствора бикарбоната магния из каустического брусита выше, чем при использовании в качестве основы порошка каустического магнезита.



Зависимость концентрации раствора бикарбоната магния от давления CO₂ в автоклаве: 1 – бикарбонат магния на основе каустического брусита; 2 – бикарбонат магния на основе каустического магнезита

Таблица 2

Исходный каустический магнезиальный порошок	Концентрация ионов Mg ²⁺ , мг/л			Концентрация ионов HCO ₃ ⁻ , мг/л		
	7 атм	9 атм	11 атм	7 атм	9 атм	11 атм
Каустический магнезит	$\frac{1025}{1008}$	$\frac{1350}{1297,8}$	$\frac{892}{945}$	5368,5	3783,2	4392,2
Каустический брусит	$\frac{933,4}{907,2}$	$\frac{991,7}{953,6}$	$\frac{1005}{932,7}$	4636	6224	5857,1

Примечание. Над чертой представлены значения концентрации иона Mg²⁺, полученные с помощью атомно-эмиссионной спектроскопии (АЭС); под чертой – титриметрическим способом.

Это связано с различиями в кристаллической структуре как исходных каустических порошков, так и образующегося при их карбонизации твердого осадка, что подробно изучено в работе [18].

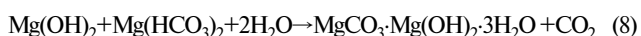
Для определения концентрации ионов использовали растворы бикарбоната магния, полученные при давлении газа CO₂ 7, 9, 11 атм. Результаты определения количества ионов магния и бикарбонат-ионов представлены в табл. 2.

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что для получения водного раствора бикарбоната магния в автоклаве необходимо создавать давление газа CO₂ в 9 атм. Также отмечается высокое значение концентрации ионов бикарбоната HCO₃⁻ при давлении 9 атм и использовании в качестве основы каустического брусита. При увеличении срока хранения раствора БКМ на основе каустического брусита концентрация бикарбонат-иона не только не уменьшается, но и возрастает. Это связано с тем, что образующийся при карбонизации твердый осадок состоит из гидрокарбонатов магния различного состава [18]. Некоторые формы гидрокарбонатов магния, такие как основной карбонат магния (гидромагнезит) 3MgCO₃·Mg(OH)₂·3H₂O, способны растворяться в воде в присутствии CO₂ с выделением дополнительных количеств HCO₃⁻ согласно реакции (4).

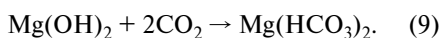
При взаимодействии каустического магнезита с водным раствором Mg(HCO₃)₂ сначала протекает реакция гидратации:



Образовавшийся гидроксид магния далее взаимодействует с БКМ по реакции:



с образованием гидрата гидрокарбоната магния и диоксида углерода, который вступая во взаимодействие с избытком гидроксида магния, образует вторичный БКМ:



Вторичный бикарбонат магния вновь взаимодействует с гидроксидом магния по реакции (8) с образованием новой порции гидрата гидрокарбоната магния, который вместе с гидроксидом магния образует первичные продукты гидратации магнезиального цемента, обеспечивающие его твердение в процессе перекристаллизации первичных коллоидных продуктов в кристаллическое состояние.

Таким образом, в результате протекания последовательных и параллельных реакций (7, 8, 9) в цементном камне образуются две основные кри-

сталлические фазы – гидроксид магния и гидрат гидрокарбоната магния, количественное соотношение которых предопределяется содержанием бикарбоната магния в жидкости затворения [11]. Образовавшиеся кристаллогидраты практически нерастворимы в воде [19] и определяют высокую водостойкость магнезиального камня.

Для исследования влияния раствора бикарбоната магния, полученного на основе каустического магнезита или каустического брусита при давлении диоксида углерода 9 атм, на свойства магнезиального камня были изготовлены образцы 2×2×2 см. Цементная смесь представляла собой каустический магнезит или каустический брусит, затворенные водным раствором бикарбоната магния. Составы и свойства образцов представлены в табл. 3. Магнезиальное цементное тесто готовилось с нормальной густотой при введении жидкости затворения в количестве 46% от массы каустического магнезита и 50% от массы каустического брусита. Сформованные образцы выдерживались на воздухе в течение 1 сут, далее извлекались из форм и помещались для дальнейшего твердения в разные среды: часть образцов оставалась твердеть на воздухе, часть образцов помещалась в камеру нормального твердения с воздушно-влажной средой и влажностью почти 100%, а часть образцов погружалась в воду.

Данные табл. 3 показывают, что использование водного раствора бикарбоната магния из каустического брусита позволяет получить более прочный магнезиальный камень за счет более высокой концентрации бикарбонат-ионов.

Сравнительно высокие значения прочности при сжатии образцов наблюдаются при затворении каустического магнезита, взятого в качестве магнезиального цемента, затворенного водным раствором БКМ, полученного на основе каустического брусита. Это можно объяснить тем, что каустический магнезит, полученный обжигом при 800°C, в своем составе содержит наряду с

Таблица 3

Основа водного раствора бикарбоната магния	Магнезиальный цемент	Прочность при сжатии (7 сут), МПа, при твердении в разных средах		
		Воздушная среда	Воздушно- влажная среда	Водная среда
Каустический магнезит	Каустический брусит	12,3	15,8	16,1
	Каустический магнезит	9,9	20,8	30,4
Каустический брусит	Каустический брусит	9,8	13,3	17
	Каустический магнезит	6,9	24,3	33,6

высокоактивным оксидом магния и недоразложившийся карбонат магния $MgCO_3$ с дефектной кристаллической структурой [20], что способствует получению более прочного магнезиального камня [21] при затворении раствором бикарбоната магния.

Отсутствие растворимых соединений в магнезиальном цементном камне из каустического магнезиального порошка, затворенного раствором бикарбоната магния, предопределяет его повышенную водостойкость, и такой цементный камень твердеет с увеличением прочности не только в воздушной среде с относительной влажностью более 75%, но и в воде после предварительного твердения на воздухе. Это подтверждается данными, представленными в табл. 3. Если коэффициент водостойкости представить как отношение прочности при сжатии образцов, твердевших в воде, к прочности образцов, твердевших на воздухе, то получим значение коэффициента, равное от 1,3 до 4,8, что свидетельствует об интенсивном наборе прочности образцов, находящихся в воде. Это связано со сложными физико-химическими процессами, происходящими при взаимодействии бикарбоната магния с каустическим магнезитом в водных условиях, когда реакции (7, 8, 9), интенсифицируются

образовавшимися растворимыми фазами гидрокарбонатов магния с образованием дополнительных количеств бикарбонат-ионов, которые в том числе переходят в окружающую образец воду. Таким образом, учитывая, что магнезиальный цемент, затворенный водным раствором бикарбоната магния, способен твердеть не только на воздухе, но и в воде, магнезиальное вяжущее можно перевести из группы воздушных вяжущих веществ в группу гидравлических вяжущих.

Выводы. В результате проведенных исследований установлена возможность применения водного раствора бикарбоната магния в качестве жидкости затворения магнезиального вяжущего. Максимальная концентрация ионов бикарбоната магния в растворе образуется при давлении диоксида углерода 9 атм при карбонизации суспензии каустического брусита. Полученный таким образом водный раствор бикарбоната магния в сочетании с каустическим магнезитом позволяет получать магнезиальный цементный камень с высокой прочностью при сжатии и высоким коэффициентом водостойкости – более 4. На основании проведенных исследований предлагается новый вид вяжущего вещества – гидравлическое магнезиальное вяжущее.

Список литературы

1. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества (технология и свойства). М.: Стройиздат, 1979. 480 с.
2. Орлов А.А., Черных Т.Н., Крамар Л.Я. Стекломагнезиальные листы: проблемы производства, применения и перспективы развития // *Строительные материалы*. 2014. № 3. С. 48–52.
3. Shand Mark A. Chemistry and technology of magnesia. Hardcover. 2006. 266 p.
4. Зимич В.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Влияние различных видов затворителей на гигроскопичность магнезиального камня // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2008. Вып. 6. № 12. С. 13–15.
5. Свит Т.Ф. Термогравиметрическое исследование продуктов гидратации и твердения сульфомагнезиальных вяжущих веществ // *Ползуновский вестник*. 2010. № 3. С. 100–103.
6. Зимич В.В., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я. Снижение гигроскопичности и повышение водостойкости хлормагнезиального камня путем введения трехвалентного железа // *Строительные материалы*. 2009. № 5. С. 58–61.
7. Зимич В.В., Крамар Л.Я., Черных Т.Н., Пудовиков В.Н., Перминов А.В. Особенности влияния добавки золя гидроксида железа на структуру и свойства магнезиального камня // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2011. Выпуск 13. № 35. С. 25–32.
8. Vereshchagin V.I., Smirenskaya V.N., Erdman S.V. Water-resistant blended oxychlorate cements // *Glass and Ceramics*. 1997. Vol. 54. No. 11–12, pp. 368–372.
9. Зырянова В.Н., Лыткина Е.В., Бердов Г.И. Повышение механической прочности и водостойкости магнезиальных вяжущих веществ при введении минеральных наполнителей // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2010. № 3. С. 21–26.
10. Cole W.F., Demediuk T. X-Ray, thermal, and dehydration studies on magnesium oxychlorides. *Australian Journal of Chemistry*. 1955. Vol. 8(2), pp. 234–251.

References

1. Volzhenskii A.V., Burov Yu.S., Kolokol'nikov V.S. Mineral'nye vyazhushchie veshchestva (tekhnologiya i svoistva) [Mineral binders (technology and properties)]. M.: Stroizdat. 1979. 480 p.
2. Orlov A.A., Chernykh T.N., Kramar L.Ya. Magnesium oxychloride boards: problems of production, use and prospects of development. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 48–52. (In Russian).
3. Shand Mark A. Chemistry and technology of magnesia. Hardcover. 2006. 266 p.
4. Zimich V.V., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya. Effect of different types on a mixing magnesia stone hygrosopicity. *Vestnik YuUrGU. Series «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2008. Vol. 6. No. 12. pp. 13–15. (In Russian).
5. Svit T.F. Thermogravimetric study of the products of hydration and hardening of magnesium sulfate binders. *Polzunovskii vestnik*. 2010. No. 3, pp. 100–103. (In Russian).
6. Zimich V.V., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya. Fall in hygrosopicity and rise of water resistance of chlormagnezic stone by injection of trivalent iron. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 5, pp. 58–61. (In Russian).
7. Zimich V.V., Kramar L.Ya., Chernykh T.N., Pudovikov V.N., Perminov A.V. Features of influence of additives iron hydroxide sol on structure and properties of magnesia stone. *Vestnik YuUrGU. Series «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2011. Vol. 13. No. 35, pp. 25–32. (In Russian).
8. Vereshchagin V.I., Smirenskaya V.N., Erdman S.V. Water-resistant blended oxychlorate cements. *Glass and Ceramics*. 1997. Vol. 54. No. 11–12, pp. 368–372.
9. Zyryanova V.N., Lytkina E.V., Berdov G.I. Improvement of the mechanical strength and water resistance of magnesia binders with the introduction of mineral fillers. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2010. No. 3, pp. 21–26 (In Russian).
10. Cole W.F., Demediuk T. X-Ray, thermal, and dehydration studies on magnesium oxychlorides. *Australian Journal of Chemistry*. 1955. Vol. 8(2), pp. 234–251.
11. Patent RF 2404144 *Magnezial'noe vyazhushchee* [Magnesia binder] Lotov V.A., Lotova L.G. Declared 31.07.2009. Published 20.11.2010. Bulletin No. 32. (In Russian).
12. Lotov V.A., Mitina N.A. Preparation of water-resistant magnesia astringent *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*.



11. Патент РФ 2404144 Магнезиальное вяжущее / Лотов В.А., Лотова Л.Г.; Заявл. 31.07.2009. Опубл. 20.11.2010. Бюл. № 32.
12. Лотов В.А., Митина Н.А. Получение водостойкого магнезиального вяжущего // *Техника и технология силикатов*. 2010. Т. 17. № 3. С. 19–22.
13. Федоренко В.И. Физико-химические свойства воды как основа для технологических расчетов мембранных систем водоподготовки // *Мембраны. Серия. Критические технологии*. 2002. № 16. С. 28–38.
14. Некрасов Б.В. Основы общей химии. Т. 2. М.: Химия, 1973. 122 с.
15. Авторское свидетельство СССР 406802. Способ получения раствора бикарбоната магния / Телитченко В.А. Опубл. 23.07.1989. Бюл. № 27.
16. Patent US 2005/0255174 A1 Process and apparatus for use in preparing an aqueous magnesium bicarbonate solution / Shelley Ar., Shelley D., Beckett R.J. Pub. Date Nov. 17, 2005.
17. Патент РФ 2374176 Способ получения ультрадисперсных порошков карбонатов / Смирнов А.П., Лотов В.А., Архипов В.А., Прохоров А.Н., Резников И.В. Заявл. 04.04.2006. Опубл. 27.11.2009. Бюл. № 33.
18. Митина Н.А., Лотов В.А., Кутугин В.А. Получение и использование раствора бикарбоната магния // *Химическая технология*. 2014. № 8. С. 460–465.
19. Краткий справочник по химии. Киев: Наукова думка. 1974. С. 156–159.
20. Вайвад А.Я. Магнезиальные вяжущие вещества. Рига: Издательство «ЗИНАТНЕ», 1971. 331 с.
21. Зув В.В., Поцелуева Л.Н., Гончаров Ю.Д. Кристаллоэнергетика как основа оценки свойств твердотельных материалов. СПб., 2006. 139 с.
2010. Vol. 17. No 3, pp. 19–22. (In Russian).
13. Fedorenko V.I. Physico-chemical properties of water as a basis for engineering calculations of membrane water treatment systems. *Membrany. Series. Kriticheskie tekhnologii*. 2002. No 16, pp. 28–38 (In Russian).
14. Nekrasov B.V. Osnovy obshchei khimii [Fundamentals of general chemistry] Moscow: Khimiya. 1973. 122 p.
15. Certificate of authorship USSR 406802. *Sposob polucheniya rastvora bikarbonata magniya* [Method of preparing a solution of magnesium bicarbonate]. Telitchenko V.A. Published 23.07.1989. Bulletin No. 27. (In Russian).
16. Patent US 2005/0255174 A1 *Process and apparatus for use in preparing an aqueous magnesium bicarbonate solution*. Shelley Ar., Shelley D., Beckett R.J. Pub. Date Nov. 17, 2005.
17. Patent RF 2374176 *Sposob polucheniya ul'tradispersnykh poroshkov karbonatov* [A method for producing ultrafine powders carbonates]. Smirnov A.P., Lotov V.A., Arkhipov V.A., Prokhorov A.N., Reznikov I.V. Declared 04.04.2006. Published 27.11.2009. Bulletin No. 33. (In Russian).
18. Mitina N.A., Lotov V.A., Kutugin V.A. Preparation and use of a solution of magnesium carbonate. *Khimicheskaya tekhnologiya*. 2014. No 8, pp. 460–465. (In Russian).
19. *Kratkii spravochnik po khimii* [Quick reference guide for chemistry]. Kiev: Naukova dumka. 1974. P. 156–159.
20. Vaivad A.Ya. *Magnezial'nye vyazhushchie veshchestva* [Magnesia binders]. Riga: «ZINATNE». 1971. 331 p.
21. Zuev V.V., Potselueva L.N., Goncharov Yu.D. *Kristalloenergetika kak osnova otsenki svoisty tverdotel'nykh materialov* [Crystal energy as a basis of valuation of properties of solid materials]. Saint-Petersburg. 2006. 139 p.

НОВОСТИ

В Нидерландах разработан новый биоасфальт

В Зеландии собираются покрыть дороги инновационной асфальтобетонной смесью, созданной без использования битума

Дороги Зеландии, провинции Нидерландов, планируется покрыть новым биоасфальтом. Об этом сообщили ученые Вагенингенского университета и научно-исследовательского центра. Исследовательская группа заменила в составе асфальтобетонной смеси битум на лигнин, натуральное клейкое вещество, содержащееся в структуре древесины всех видов растений и деревьев и являющееся составляющей древесных отходов. Битум, используемый в настоящее время в асфальтобетоне, получают из нефти, в результате чего в атмосферу выделяется большое количество углекислого газа, а по словам разработчиков, замена лигнином позволит значительно понизить так называемый «углеродный след» при изготовлении материала и снизить уровень шума. Новым биоасфальтом уже заинтересовались многие организации, в том числе Зеландский морской порт.

Новый материал является результатом двухлетнего проекта Biobased Infra, в котором также принимают участие Центр по изучению асфальта г. Велно и компания «Н4А» из г. Слуйскил, Нидерланды. Партнеры, принимавшие участие в разработке инновационного дорожного покрытия, сейчас тестируют его и оптимизируют свойства нового вида асфальта. Заметим, что это только одна разработка в ряду многих проектов. Biobased Infra ставит перед собой задачу разработать бетон, армированный биоволокнами, которые будут получать из древесных отходов, скошенной травы и др.

По материалам www.ozemle.ru

Казахстанский цементный завод — ТОО «Мынарал Тас Компани» вышел на проектную мощность в конце 2014 г.

Мынаральский цементный завод – совместное предприятие стоимостью 230 млн USD, 60% акций которого принадлежат французской компании Vicat Group, которая более ста лет находится на рынке стройиндустрии и является одним из лидеров по производству цемента на европейском пространстве. Вторым партнером завода является казахстанская компания Homebroker, владеющая 30% акций, а 10% принадлежит Международной финансовой корпорации Всемирного банка.

Завод был введен в эксплуатацию в 2010 г., а уже к декабрю 2014 г. освоил 100% мощности. Расположенный на берегу озера Балхаш завод имеет как мощный источник пресной воды, так и находящиеся в 3,5 км от предприятия уникальные месторождения известняка и глиняного сланца. Кроме того, Мынаральский завод имеет удобные пути транспортировки своей продукции по автотрассе Алматы – Астана и от железнодорожной станции Мынарал.

Мынаральский цементный завод является первым цементным заводом Казахстана, использующим сухой способ производства. В 2014 г. было произведено 1 млн 250 тыс. т цемента, что покрыло 15% потребности казахстанских строителей. Создано около 600 постоянных рабочих мест. 90 работников прошли обучение за рубежом. В планах – возведение второй технологической линии с увеличением мощности до 2,4 млн т и строительство цементного терминала в Астане.

По материалам КАЗИНФОРМ

УДК 691.553.2

С.А. СЕНЬКОВ¹, канд. техн. наук (energots@rambler.ru), Н.С. СЕМЕЙНЫХ¹, канд. техн. наук (semeyn@mail.ru); Г.И. ЯКОВЛЕВ², д-р техн. наук (jakowlew@udm.net), И.С. ПОЛЯНСКИХ², канд. техн. наук

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

² Ижевский государственный технический университет им. М.Т. Калашникова (426069, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7)

Адгезионные свойства гипсового вяжущего в присутствии калийсиликатного цемента

Рассмотрена возможность повышения адгезионных свойств гипсовых вяжущих систем при применении калийсиликатного цемента в сочетании с органическими веществами-модификаторами. Определено влияние каждого из выбранных компонентов на основные свойства гипсовых отделочных смесей. Добавка калийсиликатного цемента повышает щелочность среды гипсового раствора, интенсифицирует процессы растворения и коллоидации полуводного сульфата кальция, ускоряет сроки схватывания массы и снижает ее водоудерживающую способность. Гипсовое вяжущее с добавкой калийсиликатного цемента обладает высокой прочностью сцепления с керамическим основанием. Подобраны порошкообразные органические вещества-модификаторы, позволяющие регулировать процессы схватывания и твердения гипсовых растворов с добавкой калийсиликатного цемента. Высокая адгезионная прочность к керамическому основанию растворов с органоминеральным модификатором обеспечивает значительную экономию гипсового вяжущего в составе отделочных смесей.

Ключевые слова: гипсовые отделочные смеси, калийсиликатный цемент, вещества-адгезивы, адгезионные свойства.

S.A. SENKOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (energots@rambler.ru), N.S. SEMEYNYKH¹, Candidate of Sciences (Engineering) (semeyn@mail.ru); G.I. YAKOVLEV², Doctor of Sciences (Engineering), (jakowlew@udm.net), I.S. POLYANSKIY², Candidate of Sciences (Engineering)

¹ Perm State National Research Polytechnic University (29, Komsomolskiy Avenue, Perm, 614990, Russian Federation)

² Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov (7, Studencheskaya Street, Izhevsk, 426069, Russian Federation)

Adhesion Properties of a Gypsum Binder in the Presence of Potassium-Silicate Cement

A possibility of improving adhesion properties of gypsum binder systems when potassium-silicate cement is used in combination with organic substances-modifiers is considered. The influence of each selected component on basic properties of gypsum finishing mixes is defined. The addition of potassium-silicate cement increases the alkalinity of gypsum solution medium, intensifies processes of solution and colloidizing of calcium sulfate hemihydrates, accelerates the setting time of the mass and reduces its water-retaining capacity. Gypsum binder with the addition of potassium-silicate cement has high adhesion strength to the ceramic base. Powder organic substances (modifiers) which make it possible to regulate processes of setting and hardening of gypsum solutions with the addition of potassium-silicate cement have been selected. High adhesion strength of mortars with an organic-mineral modifier to the ceramic base ensures the significant economy of the gypsum binder in the composition of finishing mixes.

Keywords: gypsum finishing mixes, potassium-silicate cement, adhesive substance, adhesion properties.

Сухие гипсовые смеси для отделочных работ находят широкое применение в современном строительстве, но их состав и свойства постоянно совершенствуются, улучшаются, модифицируются. Необходимостью изменения состава является либо повышение вяжущих и адгезионных свойств смесей, либо экономия вяжущего вещества при сохранении адгезионных свойств смесей на необходимом уровне [1].

Целью проводимого исследования является определение возможности повышения адгезионной прочности к пористому основанию гипсовых вяжущих и сухих смесей на их основе при использовании органоминерального модификатора.

В составе гипсовых штукатурных и шпаклевочных смесей, как правило, присутствуют порошкообразные наполнители, которые позволяют уменьшить количество вяжущего вещества.

Известно [2], что тонкодисперсный карбонатный наполнитель (известняковая мука) обладает повышенной реакционной способностью за счет активации его частиц при измельчении. Он заполняет полости между кристаллами дигидрата сульфата кальция, что способствует увеличению прочности контактов между кристаллами, повышению плотности и, как следствие, увеличению прочности и долговечности затвердевших отделочных составов. Степень наполнения и удельная поверхность карбонатных наполнителей оказывает влияние и на водопотребность смесей. Она снижается на 10–15% при введении 5–20% тонкомолотого известняка. Однако при использовании добавки тонкомолотого известняка в сухие смеси на гипсовых вяжущих наблю-

дается повышение жесткости раствора и склонность к образованию трещин.

При изготовлении сухих гипсовых смесей, особенно предназначенных для производства штукатурных работ, большое значение имеет правильный выбор добавок, регулирующих начало и конец схватывания. В этом случае необходимо учитывать не только вид гипсового вяжущего, но и рН-среды приготовленного гипсового раствора [2].

Для замедления сроков схватывания и повышения адгезионных свойств растворов на основе гипсовых вяжущих, а также для улучшения удобоукладываемости в их состав вводят органические вещества-адгезивы.

Для нейтральной среды гипсового раствора эффективными замедлителями схватывания могут быть желатины – КМЦ, смесь лигносульфонатов, лимонная кислота.

Для гипсовых растворов с щелочной средой эффективными замедлителями схватывания являются винная кислота, а также замедлитель на основе винной кислоты и пластретарда (смесь лимонной кислоты с полифосфатами и желатином).

Роль пластифицирующей добавки и замедлителя сроков схватывания гипсового вяжущего выполняют также полимеры марки Vinnaraas R1 551 Z, RE 510 Z (0,3–1,5% от массы гипсового вяжущего) и др. вещества. Их введение значительно замедляет сроки схватывания смесей, но снижает огнестойкость изделий [1].

Ранее [3] показано, что для повышения адгезионных свойств в составе сухих смесей можно использовать минеральный модификатор, композиция которого бывает представлена различными составляющими.

Таблица 1

Соотношение компонентов, %		В/Т	Сроки схватывания, мин		Водоудерживающая способность, %
Гипсовая смесь	КСЦ		Начало	Конец	
100	-	0,55	10	12	99,45
98	2	0,55	9	11	99,03
95	5	0,55	3,5	6	98,56
90	10	0,55	Мгновенное схватывание		98,12

Таблица 2

Состав композиции, %		Прочность на отрыв (МПа), в возрасте, сут	
Гипс Г-5	КСЦ	3	5
100	-	0,05	0,51
98	2	0,61	0,74
95	5	1,3	1,66
90	10	0,59	1,3

В качестве минерального модификатора, повышающего прочность сцепления гипсовых смесей с основанием, может быть предложен калийсиликатный цемент (КСЦ), обладающий значительной адгезией к металлу, бетону, керамике, стеклу (авт. свид. № 571458 на изобр. Вяжущее / Федоров Н.Ф., Кожевникова Л.В., Семейных Н.С.).

Твердение калийсиликатного цемента обусловлено процессами гидратации тетрасиликата калия с образованием его кристаллогидрата, обеспечивающего высокие механические свойства цементного камня.

Одновременно при взаимодействии данного цемента с водой возникает щелочная среда (рН=12,2) как за счет высокой растворимости дисиликата калия, образующегося при синтезе наравне с тетрасиликатом калия, так и за счет гидролиза K_2CO_3 исходной шихты и образования бикарбоната калия ($KHCO_3$). Щелочность среды способствует образованию в продуктах твердения большого количества геля кремниевой кислоты, что обеспечивает цементу высокое значение адгезионной прочности [4].

Для изучения влияния добавки калийсиликатного цемента на свойства гипсовой смеси проведены исследования зависимости сроков схватывания и водоудерживающей способности гипсового теста от содержания компонентов. Величина водотвердого отношения для всех составов была принята равной 0,55. Результаты исследования представлены в табл. 1.

При испытании гипсовых смесей, содержащих добавку калийсиликатного цемента в количестве от 2 до 10%, выявлено, что она ускоряет схватывание гипсовой смеси и снижает ее водоудерживающую способность.

Данные результаты свидетельствуют о том, что введение калийсиликатного цемента интенсифицирует процессы растворения и коллоидации полуводного сульфата кальция за счет повышенной щелочности среды, что приводит к сокращению сроков схватывания массы. При этом в результате протекающего активного взаимодействия гипса с водой затворения и образования в большем объеме кристаллического сростка в ранние сроки повышается объем свободно выделяющейся воды, т. е. снижается величина водоудерживающей способности. Проведенный эксперимент позволяет квалифицировать калийсиликатный цемент как минеральный модификатор свойств гипсовых вяжущих.

Определение влияния минерального модификатора (калийсиликатного цемента) в составе смеси в количестве 2, 5 и 10% на адгезионные свойства гипса к керамическому полнотелому кирпичу в возрасте 3 и 5 сут воздушного твердения проводилось с использованием гипсового вяжущего Гипс Г-5 Ергачевского месторождения при величине водотвердого отношения 0,55.

Состав композиций на основе гипса и минерального модификатора и прочность на отрыв к керамическому кирпичу в возрасте 3 и 5 сут приведены в табл. 2.

Результаты определения адгезионных свойств гипсового вяжущего в присутствии минерального модифи-

катора (калийсиликатного цемента) показывают, что величина прочности на отрыв к керамическому кирпичу исследуемых композиций в возрасте 5 сут выше, чем у чистого гипса в 2–5 раз. Наилучшие результаты получены при содержании минерального модификатора 5%, когда прочность на отрыв в возрасте 3–5 сут составила 1,33–1,66 МПа соответственно. Увеличение содержания добавки модификатора до 10% приводит к снижению прочности на отрыв до 0,59 МПа в 3 сут и 1,3 МПа в возрасте 5 сут. Это можно объяснить резкой потерей подвижности массы за счет коротких сроков схватывания, когда структура еще недостаточно сформировалась в результате быстрого взаимодействия гипсовой составляющей с водой затворения.

Повышение адгезионной прочности гипсовых вяжущих в присутствии КСЦ обеспечивается также и за счет продуктов твердения самого калийсиликатного цемента, а именно геля кремниевой кислоты.

Известно [5], что сухие гипсовые смеси изготавливают с применением органических добавок, повышающих их прочность сцепления с основанием, а также обеспечивающих смеси пластифицирующий эффект. В то же время добавки-пластификаторы могут выполнять и роль замедлителей схватывания гипсовых вяжущих [2]. Так как установлено, что композиции на основе гипса и минерального модификатора при высоких адгезионных свойствах имеют короткие сроки схватывания, оказалось необходимым определить, какой вид органической добавки-пластификатора возможно использовать в составе таких композиций.

При проведении исследования были выбраны пластификатор и замедлители схватывания: пластификатор № 1; винная кислота (порошок); Retardan (50%) (жидкий). Добавки вводились в количестве 0,1% от массы смеси.

Зависимость сроков схватывания гипсового вяжущего от вида органического модификатора приведена в табл. 3.

При оценке влияния органического модификатора на сроки схватывания гипсового вяжущего установлено, что из проверенных органических модификаторов сильнодействующим эффектом обладает жидкий замедлитель схватывания Retardan (50%), но для сухой смеси желательно иметь порошкообразный замедлитель схватывания.

Из порошкообразных органических модификаторов высокий эффект замедления схватывания гипса показала винная кислота (замедление на 50% для начала схватывания и на 30% для конца схватывания).

Из литературы [2] известно, что винная кислота является эффективным замедлителем схватывания гипсового вяжущего теста, если присутствует щелочная среда. При постановке исследования в качестве минерального модификатора выбран калийсиликатный цемент, который обеспечил увеличение адгезионных свойств гипсового вяжущего в 3–4 раза.

Отмечено, что такое увеличение прочности на отрыв гипсового вяжущего с добавкой модификатора (КСЦ)

Таблица 3

Содержание компонентов, %				Сроки схватывания, мин	
Гипс Г-5	Органический модификатор			Начало	Конец
	Пластификатор № 1 (порошок)	Retardan (50%) (жидкий)	Винная кислота (порошок)		
100	–	–	–	7	13
99,9	0,1	–	–	5	13
99,8	0,2	–	–	8	13
99,9	–	0,1	–	Отсутствие схватывания > 90	
99,9	–	–	0,1	11	17

Таблица 4

Состав композиции, %			Сроки схватывания, мин		Прочность на отрыв к кирпичу, МПа, в возрасте 3 сут
Гипс Г-5	ОММ		Начало	Конец	
	КСЦ	Винная кислота (порошок)			
100	–	–	7	13	0,05
99,9	–	0,1	11	17	0,005
95	5	–	3,5	6	1,31
94,9	5	0,1	30	45	0,59
89,9	10	0,1	43	53	0,57

обеспечивается за счет щелочной среды, создаваемой им в гипсовом тесте и активизирующей взаимодействие сульфатов кальция с водой, а также за счет присутствия геля кремниевой кислоты. Однако выявлено, что введение только калийсиликатного цемента приводит к сокращению сроков схватывания гипса (в 2–2,5 раза).

Поэтому требовалось оценить влияние на физико-механические и адгезионные свойства гипсового вяжущего вводимого в его состав органоминерального модификатора (калийсиликатного цемента и винной кислоты). В/Т=0,55 во всех экспериментах.

Зависимость физико-механических и адгезионных свойств гипсового вяжущего от содержания органоминерального модификатора (ОММ) приведена в табл. 4.

Из результатов проведенных исследований следует, что винная кислота почти полностью нейтрализует щелочную среду в гипсовом тесте, создаваемую калийсиликатным цементом и обеспечивающую высокие адгезионные свойства гипсовому вяжущему.

Прочность на отрыв гипсового вяжущего в присутствии замедлителя – винной кислоты, меньше величины прочности на отрыв чистого гипса в 10 раз.

Прочность на отрыв гипсового вяжущего только с калийсиликатным цементом в той же дозировке (без введения замедлителя) была выше прочности гипса в 26 раз.

Выводы

1. Показано влияние добавки калийсиликатного цемента на сроки схватывания сухой гипсовой смеси. Выявлено, что при введении добавки КСЦ в количестве 5 и 10% от массы смеси сроки схватывания резко сокращаются от 10 до 3,5 мин или до мгновенного схватывания при замешивании смеси.

2. Установлено, что водоудерживающая способность сухой гипсовой смеси при добавке от 2 до 10% КСЦ снижается с 99,45 до 98,12%, т. е. смесь быстрее отдает избыток воды основанию.

3. Определено, что при введении добавки 5% КСЦ к гипсовому вяжущему его адгезионные свойства резко возрастают и составляют величину 1,3 МПа в возрасте 3 сут. Для чистого гипсового вяжущего эта величина составляет 0,05 МПа, что в 26 раз ниже приведенного значения.

4. Рассчитано, что для получения сухой штукатурной смеси с рекомендованной величиной прочности сцеп-

ления с основанием 0,5–0,6 МПа возможно использовать разработанный состав гипсового вяжущего с органоминеральным модификатором.

5. Количество добавки КСЦ может составлять всего 2,5% от массы гипса, а количество заполнителя – песка может быть увеличено до 10%, что в два раза превышает его содержание в стандартных штукатурных смесях.

Список литературы

1. Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей. М.: АСВ, 2003. 96 с.
2. Ферронская А.В., Коровяков В.Ф., Баранов И.М. и др. Гипс в малоэтажном строительстве. М.: АСВ, 2008. 240 с.
3. Семейных Н.С., Сажина О.В. Композиционные гипсовые вяжущие для сухих строительных смесей. *Строительство, архитектура. Теория и практика: Тезисы докладов аспирантов, молодых ученых и студентов на научно-практической конференции строительного факультета*. Пермь: ПГТУ, 2008. С. 36–43.
4. Голубев В.А., Семейных Н.С., Сеньков С.А., Черемных И.Н. Процессы твердения и структурообразования щелочесиликатных цементов. *Строительство, архитектура. Теория и практика: Тезисы докладов аспирантов, молодых ученых и студентов на научно-практической конференции строительного факультета*. Пермь: ПГТУ, 2007. С. 24–25.
5. Безбородов В.А., Белан В.И., Мешков П.И. и др. Сухие смеси в современном строительстве / Под ред. д.т.н. проф. В.И. Белана. Новосибирск: НГАУ, 1998. 94 с.

References

1. Bazhenov Yu.M., Korovyakov V.F., Denisov G.A. *Tekhnologiya sukhikh stroitel'nykh smesei* [Technology of dry construction mixes]. Moscow: ASV. 2003. 96 p.
2. Ferronskaya A.V., Korovyakov V.F., Baranov I.M. et al. *Gips v maloetazhnom stroitel'stve*. [Gypsum in a low-rise building]. Moscow: ASV. 2008. 240 p.
3. Semeinyh N.S., Sazhina O.V. Composite gypsum binder for dry construction mixtures. *Construction, architecture. Theory and practice: Theses of reports of graduate students, young scientists and students at scientific and practical conference of construction faculty*. Perm: PGTU. 2008, pp. 36–43. (In Russian).
4. Golubev V.A., Semeinyh N.S., Senkov S.A., Cheremnyh I.N. The curing process and structure of potassium-silicate cement. *Construction, architecture. Theory and practice: Theses of reports of graduate students, young scientists and students at scientific and practical conference of construction faculty*. Perm: PGTU. 2007, pp. 24–25. (In Russian).
5. Bezborodov V.A., Belan V. I., Meshkov P. I., etc. *Sukhie smesi v sovremennom stroitel'stve*. [Dry mixes in modern construction]. Edited by Belan V.I. Novosibirsk. NGAU. 1998. 94 p.

В.А. ЛОТОВ, д-р техн. наук (valotov@tpu.ru), Ш.А. ХАБИБУЛИН, магистр техники и технологии
Национальный исследовательский Томский политехнический университет (634050, г. Томск, пр. Ленина, 30)

Применение модифицированного жидкостеклового вяжущего в производстве строительных материалов*

Разработано жидкостеклово вяжущее, обладающее способностью к объемному твердению, высокой водостойкостью и хорошей адгезией по отношению к различным поверхностям. В качестве добавки-отвердителя использован портландцемент. В состав вяжущего введен этилсиликат, играющий роль пептизатора-замедлителя схватывания. Физико-химическими методами анализа исследована система жидкое стекло–цемент–этилсиликат. Вяжущее после отверждения и сушки представляет собой равномерно распределенные по объему водонерастворимого кремнеземистого ксерогеля субмикрористаллические кальциевые и натрий-кальциевые гидросиликаты. Оптимальный компонентный состав вяжущего: жидкое стекло – 83 мас. %, портландцемент – 8,5 мас. %, этилсиликат – 8,5 мас. %. На основе разработанного вяжущего получены композиционные материалы с различными наполнителями. Предел прочности при сжатии образцов на основе молотого песка составляет 67 МПа.

Ключевые слова: жидкое стекло, портландцемент, этилсиликат.

V.A. LOTOV, Doctor of Sciences (Engineering) (valotov@tpu.ru), Sh.A. KHABIBULIN, Master of Engineering and Technology
National Research Tomsk Polytechnic University (30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation)

The Use of a Modified Liquid Glass Binder in Production of Building Materials*

A liquid glass binder possessing the ability to harden volumetrically, high water resistance, and good adhesion to various surfaces has been developed. Portland cement is used as an additive-hardener. Ethyl silicate, which play the role of a peptizer-retarder of setting, is included in the composition of the binder. The binder after hardening and drying represents sub-microcrystalline calcium and natrium-calcium hydrosilicates evenly distributed in the volume of the water-insoluble siliceous xerogel. Optimal component composition of the binder: liquid glass – 83 %wt, Portland cement – 8.5 %wt, ethyl silicate – 8.5 %wt. On the basis of the developed binder, composite materials with different fillers have been obtained. The compressive strength of samples on the basis of crushed sand is 67 MPa.

Keywords: liquid glass, Portland cement, ethyl silicate.

Портландцемент является основным вяжущим материалом, широко используемым при производстве самых разнообразных строительных изделий, зданий и сооружений. По данным [1], в России в 2013 г. было произведено 66,45 млн т цемента. В период до 2020 г. планируется ввести в эксплуатацию дополнительно около 30 технологических линий общей производственной мощностью 60 млн т цемента в год.

Производство цемента является материалоемким и энергоемким. На производство 1 т продукта расходуется около 1,8 т природного и техногенного сырья при среднем удельном расходе условного топлива на обжиг клинкера 185 кг (5420,5 МДж)/т и удельном расходе электроэнергии 115 кВт·ч/т цемента. Для получения 1 т клинкера необходимо приготовить 1,5 т сырьевой смеси, содержащей примерно 75% карбонатного компонента (известняка, мела, мрамора), при обжиге которой выделяется примерно 450 кг диоксида углерода. С учетом доли клинкера (87,2%) в объеме произведенного цемента выбросы диоксида углерода составляют ориентировочно 26 млн т/г., что является серьезной экологической проблемой производства цемента [1].

Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод о целесообразности создания вяжущего, которое по своей природе и строительно-техническим свойствам не уступало бы портландцементу. Исходя из наработок отечественных и зарубежных исследователей [2, 3], авторы [4–6] предлагают в качестве такого вяжущего использовать жидкое стекло, а в качестве отвердителя – оксид или гидроксид кальция, вводимых в жидкое стекло в сухом, тонкодисперсном состоянии. Такой способ введения отвердителей резко замедляет протекание обменной реакции между жидким стеклом и кальцийсодержащей добавкой, продуктами которой являются раз-

личные гидросиликаты кальция и кремнегель, обладающие способностью образовывать прочные и водостойкие адгезионно-когезионные контакты между частицами наполнителя.

Сравнение технологий получения портландцемента и силикат-глыбы с модулем $m=3$ показывает снижение расхода тепла в 2,08 раза, выделения диоксида углерода до 153,8 кг на 1 т силикат-глыбы, а если учесть, что в составе жидкого стекла содержится 45–50% твердой фазы, то доля диоксида углерода, приходящаяся на 1 т жидкого стекла составит 70–77 кг. Помимо этого технология получения жидкого стекла, основанная на прямом растворении кремнезема в водном растворе щелочи позволяет полностью решить проблему выбросов углекислого газа и дает возможность получать жидкое стекло в больших объемах из доступного сырья [7, 8].

Смешивание кальцийсодержащих добавок в виде растворов солей, пасты гидроксида кальция с жидким стеклом приводит к образованию рыхлой, несвязанной массы продуктов взаимодействия, не обладающей вяжущими свойствами [4, 6]. Столь быстрое взаимодействие этих компонентов является следствием как высокой поверхностной и диффузионной активности частиц кальцийсодержащих добавок, так и значительной реакционной способностью жидкого стекла. Данное явление не позволяет в настоящее время широко использовать кальцийсодержащие добавки в качестве эффективных отвердителей жидкого стекла.

Низкая водостойкость жидкого стекла обусловлена присутствием в его составе подвижных катионов натрия. Данная проблема решается связыванием Na^+ анионами фтора в технологии кислотоупорных цементов [9], либо с помощью кальцийсодержащих агентов, как это сделано в работе [6].

* Работа выполнена при финансовой поддержке ГЗ «Наука» №1235.

* Work is executed at financial support of GZ "Nauka" № 1235.

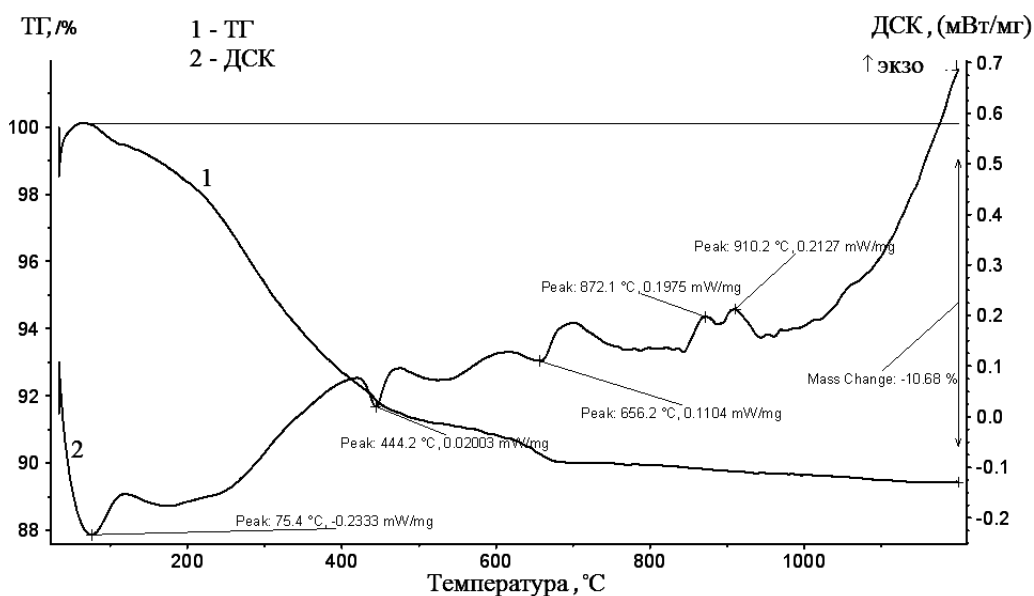


Рис. 1. Дифференциальная термограмма вяжущего после отверждения и сушки

Целью настоящего исследования являлась разработка жидкостеклового вяжущего, обладающего способностью к объемному твердению, высокой водостойкостью и хорошей адгезией к самым различным поверхностям.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Исследовать процессы взаимодействия жидкого стекла с сухими кальцийсодержащими добавками.

2. Замедлить скорость протекания реакций между жидким стеклом и кальцийсодержащими добавками.

3. Синтезировать вяжущее, выявить его оптимальные составы и технологические параметры процессов производства строительных изделий на его основе.

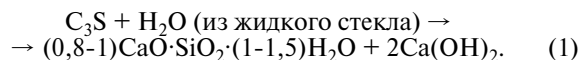
При проведении исследований использовалось натриевое жидкое стекло с силикатным модулем 3. Массовое содержание твердой фазы ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$) составляло 44% при плотности жидкого стекла 1500 кг/м^3 .

В работе в качестве добавки-отвердителя выбран портландцемент марки М400 Д20, содержащий 65 мас. % оксида кальция. Выбор отвердителя обусловлен тем, что образцы композиционных материалов, полученные на основе жидкого стекла и портландцемента, показали наибольшую прочность по сравнению с аналогичными образцами на основе жидкого стекла с добавкой оксида и гидроксида кальция.

В качестве модифицирующей добавки к вяжущему использован этилсиликат-40, содержащий соответственно 40 мас. % оксида кремния. Необходимость модификации вяжущего обусловлена тем, что смешивание жидкого стекла и портландцемента практически в любом соотношении приводит к моментальному схватыванию, не позволяя приготовить исходные формовочные смеси и придать необходимую форму изделиям. Это является следствием высокой реакционной способности частиц кальцийсодержащего агента, препятствующей равномерному распределению этих частиц по объему жидкого стекла и быстрому образованию структур твердения. Предварительная модификация портландцемента полярным этилсиликатом позволяет временно гидрофобизировать и нейтрализовать поверхность частиц цемента, способствуя при этом равномерному распределению добавки цемента по объему жидкого стекла.

Вяжущее готовили смешиванием с жидким стеклом равных масс портландцемента и этилсиликата. Взаимодействие оксида кальция, входящего в состав

минералов портландцемента, с жидким стеклом может быть описано схематично по уравнению:



Изменение содержания добавки-отвердителя и модификатора позволяет в широких пределах регулировать живучесть вяжущего. Так, при значительном недостатке оксида кальция от стехиометрии (25 мол. % и ниже) вяжущее медленно схватывается (свыше 30 мин) и набирает прочность. При стехиометрическом содержании оксида кальция (100 мол. % и выше) вяжущее схватывается в течение 3–5 мин. Оптимальное содержание оксида кальция, обеспечивающее живучесть полученного вяжущего порядка 15–25 мин, составляет 45 мол. %. Разработанное вяжущее имеет следующий компонентный состав: портландцемент – 8,5 мас. %, этилсиликат – 8,5 мас. %, жидкое стекло – 83 мас. %. После отверждения и сушки на воздухе вяжущее исследовали методами физико-химического анализа веществ.

На дифференциальной термограмме (рис. 1) присутствует широкий пик с максимумом при 75°C , соответствующий удалению адсорбционной воды и разложению этилсиликата. Дальнейшее нагревание до температуры 300°C приводит к постепенной дегидратации разнообразных продуктов реакции (1) и образованию ксерогеля. На кривой ДТА присутствует эндоэффект с максимумом при 444°C , соответствующий дегидратации $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [10]. Необходимо отметить, что пик при 585°C , соответствующий разложению свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [10], на термограмме отсутствует, что свидетельствует о полном связывании портландита, выделяющегося при гидратации портландцемента. Эндоэффект с максимумом при 656°C соответствует разложению карбоната кальция. Экзоэффекты при 872 и 910°C соответствуют кристаллизации волластонита из продуктов дегидратации гиролитоподобных натрий-кальциевых гидросиликатов и низкоосновных кальциевых гидросиликатов соответственно [6, 10]. Потеря основной массы воды происходит до 700°C , после чего масса образца остается неизменной вплоть до температуры более 1000°C .

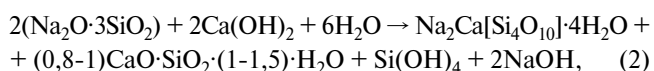
Несмотря на относительно высокую температуру сушки (200°C), в составе вяжущего остается значительное количество связанной воды, что подтверждается

Заполнитель	Содержание заполнителя, мас. %	Содержание вяжущего, мас. %	Плотность изделий, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	R _{сж} , МПа
Песок	80,3	19,7	1650	0,753	34
Песок молотый	80,5	19,5	1700	0,771	67
Вермикулит вспученный	56,9	43,1	350	0,078	1,5
Перлит вспученный	55,2	44,8	280	0,082	1,5
Микросферы алюмосиликатные	56,9	43,1	370	0,214	2,5
Опилки древесные	60,6	39,4	340	0,112	2

наличием широкой полосы поглощения в диапазоне 2500–3500 см⁻¹, соответствующей колебаниям связи О–Н [11]. Присутствие при 980 см⁻¹ полосы очень небольшой интенсивности, соответствующей колебаниям связи Si–OC₂H₅ [11], позволяет сделать вывод, что сушка при повышенной температуре приводит к практически полному разложению содержащегося в составе вяжущего этилсиликата-40 с выделением этанола и кремнегеля. В процессе разложения этилсиликата выделяется значительное количество оксида кремния в виде аморфного кремнегеля, обладающего высокой клеящей способностью.

Вяжущее после твердения и сушки представляет собой кремнеземистый ксерогель, содержащий субмикроструктурные продукты взаимодействия жидкого стекла и цемента. Образцы получали литьем вяжущего на гладкую полиэтиленовую подложку, при этом, несмотря на полярную природу большинства компонентов вяжущего, происходило хорошее смачивание неполярного полиэтилена.

Хорошее смачивание материалов вяжущим обуславливает хорошую адгезию в затвердевшем состоянии. По сравнению с чистым жидким стеклом полученное вяжущее обладает значительно более высокими значениями скорости набора адгезионно-когезионной прочности. Так, к концу первых суток твердения прочность склеивания на отрыв (измеритель адгезии ПСО-МГ4) от стали составила в случае предлагаемого вяжущего 0,55 МПа, а в случае чистого жидкого стекла – 0,13 МПа. К концу пятых суток значения прочности склеивания составили 1 МПа и 0,4 МПа соответственно. Образующийся по реакции (1) гидроксид кальция взаимодействует с жидким стеклом по уравнению:



из которого следует, что наряду с простыми тоберморитоподобными гидросиликатами кальция (d=1,1125; 0,3074; 0,2844; 0,1834 нм) образуются сложные гиролитоподобные натрий-кальциевые гидросиликаты (d=0,4245; 0,3363; 0,2854; 0,1884 нм), а также кремнегель.

Во второй части исследования в полученное вяжущее вводили различные заполнители. С целью определения возможностей предлагаемого вяжущего использованы заполнители как с высокой, так и с низкой насыпной плотностью: кварцевый песок крупностью менее 0,5 мм и молотый в течение 30 мин в шаровой мельнице; вермикулит вспученный крупностью менее 3 мм; перлит вспученный крупностью менее 1 мм; алюмосиликатные микросферы крупностью менее 0,25 мм; опилки древесины с абсолютной влажностью 70 мас. % и крупностью менее 5 мм.

Применение портландцемента с легкими заполнителями (перлит, опилки и т. д.) сопряжено с высоким расходом цемента вследствие образования на поверхности частиц заполнителя толстых слоев вяжущего. Это приводит, как правило, к получению композиционных материалов с излишне высокими значениями плотности

и соответственно теплопроводности [12]. Благодаря уникальной химической природе жидкого стекла, склонного к образованию тончайших пленок на самых различных поверхностях, разработанное вяжущее лишено данных недостатков.

Для испытаний формовали образцы размером 25×25×25 мм в пресс-форме при удельном давлении 15 МПа в случае песчаного заполнителя и 0,15 МПа во всех остальных случаях. После предварительного твердения при температуре 25°С в течение 0,5 ч образцы подвергали сушке в течение 3 ч при температуре 200°С, причем образцы на основе древесных опилок сушили при максимальной температуре 130°С.

Компонентный состав композиционных материалов на основе предлагаемого вяжущего, а также экспериментальные данные физико-механических свойств полученных образцов приведены в табл. 1.

Использование разработанного вяжущего позволяет получать высокопрочные изделия на основе песка и жидкостеклового вяжущего без тонкого помола последнего [13]. Вяжущее хорошо смачивает отдельные песчинки (рис. 2 а, б) и образует прочные адгезионные контакты, что позволяет легко получать высокопрочную структуру.

Разрушение образцов на основе алюмосиликатных микросфер (рис 3, а) происходит по частицам заполнителя, что является следствием более высокой механической прочности прослоек вяжущего по сравнению с стеклокристаллическим материалом микросфер. Как видно из рис. 3, б, вяжущее в момент смешивания с заполнителем обладает достаточно высокой текучестью, что позволяет ему обволакивать поверхность частиц заполнителя.

Сырьевая смесь на основе разработанного вяжущего твердеет по объему, что позволяет изготавливать на ее основе широкий круг строительных материалов, в том числе древесно-опилочные брусья и стеновые панели для быстровозводимого жилья. Полученное вяжущее вещество можно использовать в качестве водостойкого клея для склеивания самых различных материалов – древесины, кирпича, пеностекла и т. д.

Благодаря относительно высокой скорости схватывания и набора прочности изделия на основе предлагаемого вяжущего можно подвергать сушке уже через 30 мин после формования. Принципиальная технологическая схема производства композиционных материалов на основе вяжущего включает такие стадии, как дозирование сырьевых компонентов, перемешивание их в смесителе, прессование или вибропрессование полученной сырьевой смеси, предварительную выдержку и сушку полуфабрикатов. Полный цикл изготовления изделий составляет 4 ч.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

– при использовании портландцемента в качестве добавки-отвердителя и этилсиликата-40 в качестве модификатора получено вяжущее, удовлетворяющее всем поставленным задачам;

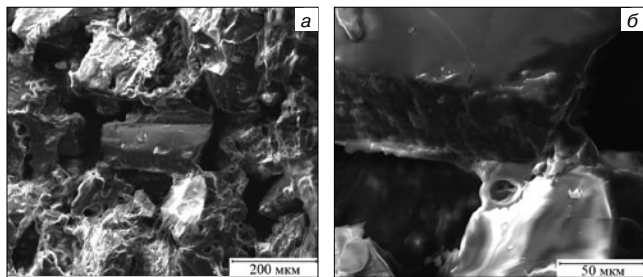


Рис. 2. Микрофотографии скла образца на основе связанного песка: а – 200 мкм, б – 50 мкм

– введение этилсиликата-40 в состав вяжущего приводит к достижению высоких физико-механических свойств полученных образцов. При 8,5 мас. % содержания этилсиликата в составе вяжущего предел прочности при сжатии образцов с наполнителем – молотым песком составляет 67 МПа;

– оптимальные составы сырьевой смеси для получения водостойкого и объемно-твердеющего вяжущего содержат в качестве компонентов жидкое стекло – 83 мас. %, портландцемент – 8,5 мас. % и этилсиликат – 8,5 мас. %;

– введение этилсиликата-40 в состав вяжущего создает условия для полного связывания кальция в малорастворимые субмикроструктурные кальциевые

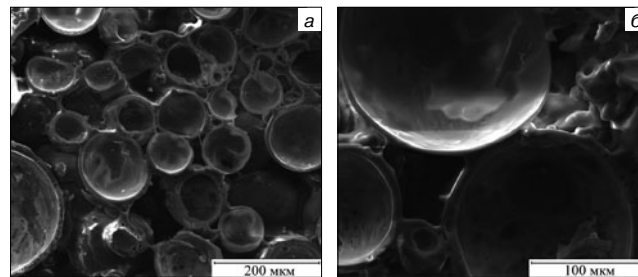


Рис. 3. Микрофотографии скла образца на основе алюмосиликатных микросфер: а – 200 мкм, б – 100 мкм

и натрий-кальциевые гидросиликаты, равномерно распределенные по объему водонерастворимого кремнегеля, являющегося основной клеящей субстанцией;

– сушка изделий при максимальной температуре до 200°C приводит к улучшению структуры вяжущего за счет практически полного удаления органической составляющей этилсиликата, а также дегидратации кремнегеля, приводящей к образованию водонерастворимого ксерогеля.

Таким образом, проведенные исследования показали, что модифицированное жидкое стекло может быть применено в качестве вяжущего при производстве различных строительных материалов.

Список литературы

1. Василик Г.Ю. Цементная промышленность России в 2013 году // *Цемент*. 2013. № 6. С. 20–33.
2. Борсук П.А., Ляс А.М. Жидкие самотвердеющие смеси. М.: Машиностроение, 1979. 255 с.
3. Сычев М.М. Неорганические клеи. Л.: Химия. 1986. 152 с.
4. Самойленко В.В., Фирсов В.В. Формирование структуры ячеистого теплоизоляционного материала из жидкостекляной композиции холодного твердения // *Стекло и керамика*. 2011. № 8. С. 14–16.
5. Лотов В.А., Кутугин В.А. Термопеносиликатные изделия на основе жидкостекляных композиций // *Стекло и керамика*. 2008. № 1. С. 6–10.
6. Усова Н.Т., Лотов В.А., Лукашевич О.Д. Водостойкие безавтоклавные силикатные строительные материалы на основе песка, жидкостекляных композиций и шламов водоочистки // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2013. № 2. С. 276–284.
7. Корнеев В.И., Данилов В.В. Жидкое и растворимое стекло. СПб.: Стройиздат. 1996. 216 с.
8. Патент РФ 2132817. Способ получения жидкого стекла гидротермальным методом / Лотов В.А., Верещагин В.И., Косинцев В.И., Пасечников Ю.В. Заявл. 17.02.1998. Опубл. 10.07.1999. Бюл. № 19.
9. Домокеев А.Г. Строительные материалы. М.: Высшая школа, 1989. 495 с.
10. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.
11. Семченко Г.Д. Золь-гель процесс в керамической технологии. Харьков, 1997. 144 с.
12. Мельникова Л.В. Технология композиционных материалов из древесины. М.: Издательство Московского государственного университета леса. 2004. 234 с.
13. Михайленко Н.Ю., Клименко Н.Н. Оптимизация технологических параметров синтеза высококремнеземистых жидкостекляных композиций строительного назначения // *Стекло и керамика*. 2013. № 5. С. 11–17.

References

1. Vasilik G.Yu. The cement industry of Russia in 2013. *Tsement*. 2013. No 6, pp. 20–33. (In Russian).
2. Borsuk P.A., Lyass A.M. Zhidkie samotverdeyushchie smesi [Liquid self-hardening mixes]. M.: Mashinostroenie. 1979. 255 p.
3. Sychev M.M. Neorganicheskie klei [Inorganic glues]. Leningrad: Khimiya. 1986. 152 p.
4. Samoylenko V. V, Firsov V. V. Structure formation of porous heat insulating material from liquid-glass composition of cold hardening. *Glass and Ceramics*. 2011. No. 8, pp. 14–16.
5. Lotov V.A., Kutugin V.A. Formation of a porous structure of foam silicates based on liquid-glass compositions. *Glass and Ceramics*. 2008. №1-2, pp. 6–10.
6. Usova N.T., Lotov V.A., Lukashevich O.D. Warproof autoclaveless silicate building materials on the basis of sand, soluble glass compositions and mud of water purifications. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2013. No. 2, pp. 276–284. (In Russian).
7. Korneev V.I., Danilov V.V. Zhidkoe i rastvorimoe steklo [Liquid and soluble glass]. Saint-Petersburg: Stroizdat. 1996. 216 p.
8. Patent RF 2132817. Sposob polucheniya zhidkogo stekla gidrotermal'nym metodom [Way of receiving liquid glass hydrothermal method]. Lotov V.A., Vereshchagin V.I., Kosintsev V.I., Pasechnikov Yu.V. Declared 17.02.1998. Published 10.07.1999. Bulletin No. 19. (In Russian).
9. Domokeev A.G. Stroitel'nye materialy [Construction materials]. Moscow: Vysshaya shkola. 1989. 495 p.
10. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savel'ev V.G. Metody fiziko-khimicheskogo analiza vyazhushchikh veshchestv [Methods of the physical and chemical analysis of knitting substances]. M.: Vysshaya shkola. 1981. 335 p.
11. Semchenko G.D. Zol'-gel' protsess v keramicheskoi tekhnologii [Zol-gel process in ceramic technology]. Khar'kov. 1997. 144 p.
12. Mel'nikova L.V. Tekhnologiya kompozitsionnykh materialov iz drevesiny [Technology of the wood composite materials]. Moscow: Publisher Moscow State Institute of Forest. 2004. 234 p.
13. Mikhailenko N.Yu., Klimenko N.N. Optimization of technological parameters of synthesis high-silicic zhidkostekolnykh of composites of construction appointment. *Glass and Ceramics*. 2013. No. 5, pp. 11–17.

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья — это сочинение небольшого размера (до 3-х журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Строительные материалы»® для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНИПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–5 лет в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние 5 лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

ВНИМАНИЕ! С 1 января 2014 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.cdr, *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом до 500 знаков на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Строительные материалы»®, ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»® был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://www.rifsm.ru/page/7>

MosBuild

Главная строительная
и интерьерная выставка России

Неделя Дизайна и Декора

31 марта – 3 апреля 2015
Москва, ЦВК «Экспоцентр»

Неделя Строительства и Архитектуры

14 – 17 апреля 2015
Москва, ЦВК «Экспоцентр»

www.mosbuild.com

MosBuild 

Архитектура ■ Строительство ■ Дизайн ■ Декор



ВСЕЛУГ

ЗАВОДЫ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СУХИХ СМЕСЕЙ

- фасовочные машины
- интенсивные смесители
- весовые дозаторы
- виброклассификаторы
- рукавные фильтры
- системы управления на базе PC и PLC



Телефон: +7 (495) 727-4466 (многоканальный) • Факс: +7 (495) 727-4467 • E-mail: vselug@vselug.ru • www.vselug.ru