

Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]

ISSN 0585-430X

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ[®] № 8



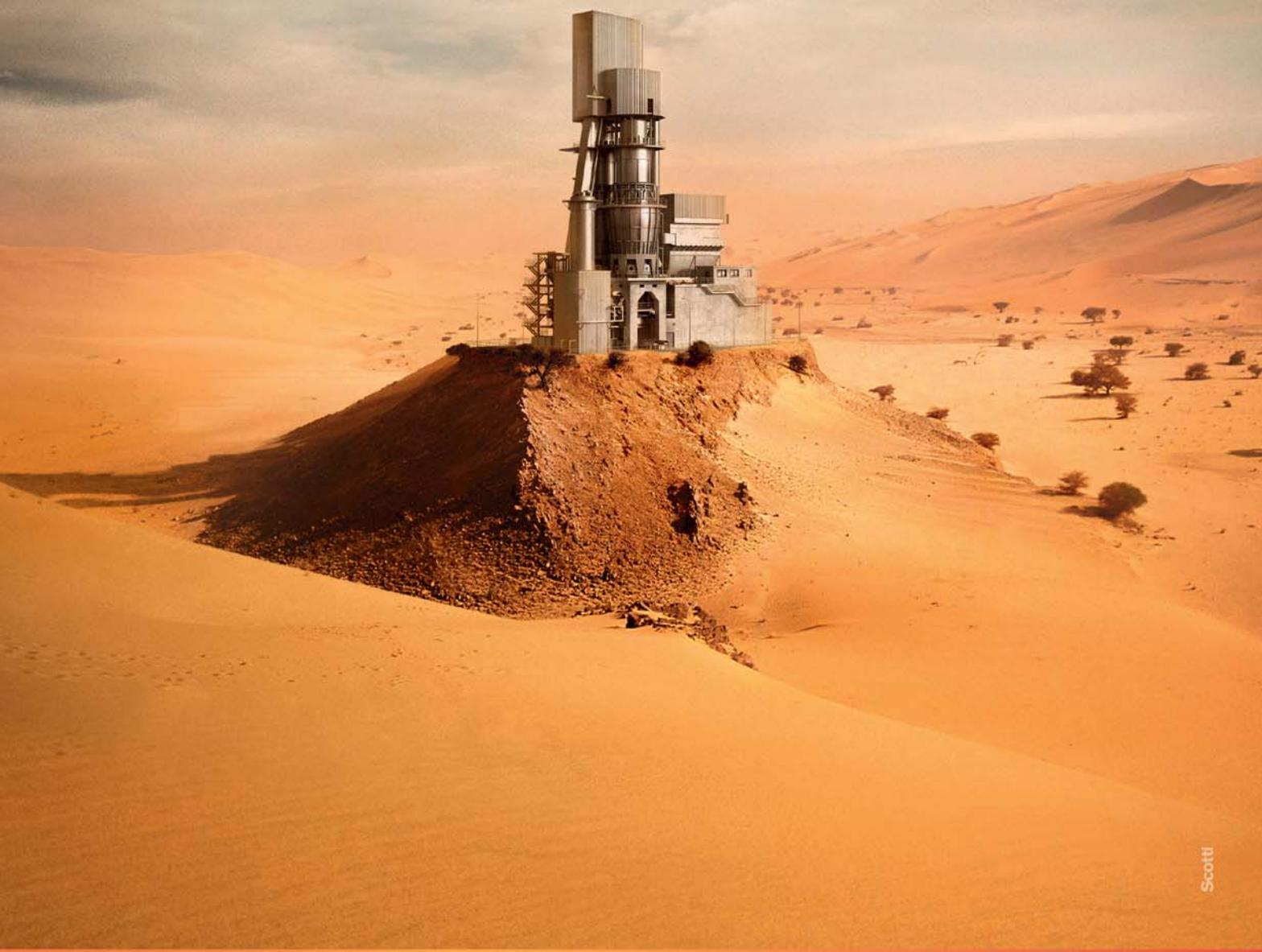
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЕТСЯ С 1955 г.

WWW.RIFSM.RU

АВГУСТ 2017 г. (751)

БЕЗ ПРОБЛЕМ



Scotti

Печи Мерц для обжига извести чрезвычайно эффективны при любом климате. На протяжении многих десятилетий. Там где Вы находитесь немного засушливо? Без проблем: maerz.com





ЗАВОД
ТЕХПРИБОР

Реклама

Тульская обл., г. Щекино
ПРЕДЛАГАЕТ

МЕЛЬНИЦЫ «ТРИБОКИНЕТИКА»



miningworld
RUSSIA
Диплом за лучшую
мельницу тонкого помола*

ОСМ 2015

Диплом за лучший
мельничный комплекс



Всё перемелется!

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



Завод «ТЕХПРИБОР» РФ, Тульская область, г. Щекино, ул. Пирогова, д.43
Контактные телефоны: (48751) 9-05-95, 9-05-96, 9-05-21, 9-05-46
E-mail: manager@tpribor.ru / www.tpribor.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

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ®

№8

Основан в 1955 г.

(751) август 2017 г.

Главный редактор:

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

Редакционный совет:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ШТАКЕЛЬБЕРГ Д. И.,
 д-р техн. наук, профессор (Израиль)

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

© ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»,
 журнал «Строительные материалы»®, 2017

Силикатные строительные материалы

А.А. СЕМЁНОВ

Тенденции развития российского рынка товарной извести 4

Н.В. ЛЮБОМИРСКИЙ, С.И. ФЕДОРКИН,
 А.С. БАХТИН, Т.А. БАХТИНА, Т.В. ЛЮБОМИРСКАЯ

Исследование влияния режимов принудительного карбонатного твердения на свойства материалов на основе известково-известняковых композиций полусухого прессования. 7

Известь и карбонатное твердение – следующая ступень эволюции производства строительных материалов 13

Г.В. КУЗНЕЦОВА, Д.А. БАБУШКИНА, Г.Х. ГАЙНУТДИНОВА

Комплексное известково-кремнеземистое вяжущее для увеличения сырцової прочности силикатного кирпича 19

Г.С. СЛАВЧЕВА

Статистический анализ качества автоклавного газобетона в задачах повышения эффективности его производства. 23

И.Н. ТИХОМИРОВА, А.В. МАКАРОВ, М.А. КАРПЕНКО

Автоклавные силикатные материалы на основе отходов формовочных масс литейного производства 28

В.Н. ДЕРКАЧ, И.Е. ДЕМЧУК

Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах Часть 3. Прочность и деформативность при сдвиге 32

Материалы и оборудование

Я.И. ВАЙСМАН, А.А. КЕТОВ, Ю.А. КЕТОВ, С.А. МАЗУНИН, В.Л. ЧЕЧУЛИН

Получение пеностекла заданной окраски при использовании ограниченного набора пигментов 36

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ

О рациональном применении клинкерного кирпича (В порядке обсуждения) 42

В.Г. КУЗНЕЦОВ, И.П. КУЗНЕЦОВ

К вопросу надежного и эффективного использования ППФП-Астики на оборудовании, работающем на увлажненных материалах 45

Юбилеяры отрасли

А.В. УШЕРОВ-МАРШАК

Физико-химическая эпоха строительного материаловедения. Харьковская научно-технологическая школа 49

Экологическое строительство

Д.В. ОРЕШКИН

Экологические проблемы комплексного освоения недр при масштабной утилизации техногенных минеральных ресурсов и отходов в производстве строительных материалов 55

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

STROYTEL'NYE MATERIALY®

№8

Founded in 1955

(751) August 2017

Editor-in-chief

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Silicate building materials

A.A. SEMENOV

Tendencies of Development of the Russian Commodity Lime Market. 4

N.V. LYUBOMIRSKY, S.I. FEDORKIN, A.S. BAKHTIN, T.A. BAKHTINA, T.V. LYUBOMIRSKAYA

Research in Influence of Regimes of Forced Carbonate Hardening on Properties of Materials on the Basis of Lime-Limestone Compositions of Semidry Pressing 7

Lime and Carbonate Hardening – the Next Stage in the Evolution of Building Materials Production 13

G.V. KUZNETSOVA, D.A. BABUSHKINA, G.Kh. GAYNUTDINOVA

A Complex Lime-Siliceous Binder for Improving Raw Strength of Silicate Brick 19

G.S. SLAVCHEVA

Statistical Analysis of Quality of Autoclaved Gas Concrete in Tasks of Improving the Efficiency of Its Production 23

I.N. TIHOMIROVA, A.V. MAKAROV, M.A. KARPENKO

Autoclave Silicate Materials Based on Wastes of Molding Masses of Foundry. 28

V.N. DERKACH, I.E. DEMCHUK

Strength and Deformability of Stone Masonry Made of Cellular Concrete Blocks of Autoclaved Hardening with Polyurethane Joints. Part 3. Strength and Deformability at Shear. 32

Materials and equipment

Ya.I. VAYSMAN, A.A. KETOV, Yu.A. KETOV, S.A. MAZUNIN, V.L. CHECHULIN

The Defined Color Cellular Glass Production Using a Limited Set of Pigment. 36

I.F. SHLEGEL

On the Rational Use of Clinker Bricks (As a matter for discussion). 42

V.G. KUZNETSOV, I.P. KUZNETSOV

To the Issue of Reliable and Efficient Application of PFPF-Astiki at Equipment Operating with Damp Materials 45

Persons of the industry whose jubilees are celebrated

A.V. USHEROV-MARSHAK

Physico-Chemical Era of Building Materials Science. Kharkiv Scientific-Technological School. 49

Ecological construction

D.V. ORESHKIN

Environmental Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Re-Sources when Large-Scale Utilization of Man-Made Mineral Resources and Waste in the Production of Building Materials 55

Строительные материалы № 8

Результаты научных исследований

С.И. ПИМЕНОВ, Р.А. ИБРАГИМОВ

Влияние минералогического состава цемента при его активации на физико-технические свойства тяжелого бетона 64

Н.А. МИТИНА, В.А. ЛОТОВ

Формирование структуры цементного камня при гидратации и твердении гидрокарбонатного магнезиального вяжущего 68

Н.А. ГАЛЬЦЕВА, А.Ф. БУРЬЯНОВ, В.Г. СОЛОВЬЕВ, Д.И. ТКАЧЕНКО

Модифицированное вяжущее на основе синтетического ангидрита для закладочных смесей 74

Stroitel'nye Materialy No. 8

Results of scientific research

S.I. PIMENOV, R.A. IBRAGIMOV

Influence of Mineralogical Composition of Cement When Activating It on Physical-Technical Properties of Heavy Concrete 64

N.A. MITINA, V.A. LOTOV

Formation of Cement Stone Structure at Hydration and Hardening of a Hydrocarbonate Magnesium Binder 68

N.A. GALCEVA, A.F.BURIANOV, V.G. SOLOVIEV, D.I. TKACHENKO

A Modified Binder on the Basis of Synthetic Anhydrite for Stowing Mixtures 74

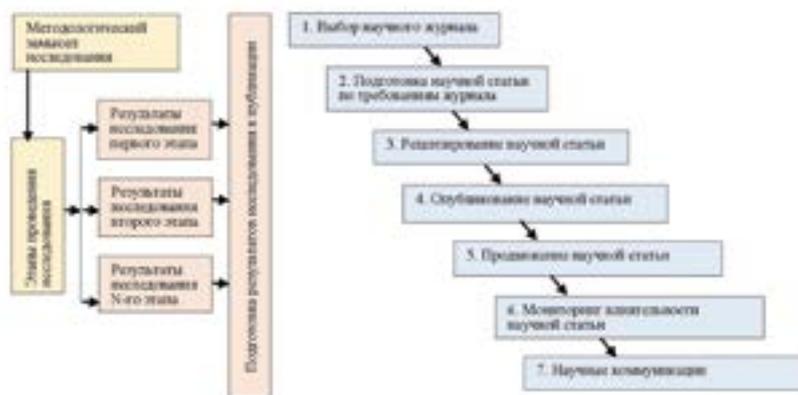
Как писать статьи в журналы, индексируемые в международных наукометрических базах данных – рекомендует Минобрнауки РФ

Министерство разработало краткие рекомендации для авторов по подготовке и оформлению научных статей в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах данных (<http://xn--80abucijbhv9a.xn--p1ai/m/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%81-%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80/9481>).

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

Детально рассмотрены разделы научной статьи, этапы подготовки рукописи.

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



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

УДК 651.51

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

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

Тенденции развития российского рынка товарной извести

Приведены сведения о состоянии и основных тенденциях развития отечественного рынка товарной извести в 2016 и первой половине 2017 г., а также данные об объемах и динамике производства и потребления, структуре рынка, уровне цен.

Ключевые слова: товарная известь, анализ рынка, структура спроса.

Для цитирования: Семёнов А.А. Тенденции развития российского рынка товарной извести // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 4–6.

A.A. SEMENOV, Candidate of Sciences (Engineering), General Director (info@gs-expert.ru)
 ООО «GS-Expert» (18, Off. 207, 1-st Tverskoy-Yamskoy Pereulok, 125047, Moscow, Russian Federation)

Tendencies of Development of the Russian Commodity Lime Market

Data on conditions and main tendencies of the development of the domestic commodity lime market in 2016 and in the first half of 2017 are presented; data on volumes and dynamics of the production and consumption, market structure, price level are also presented.

Keywords: commodity lime, analysis of market, structure of demand.

For citation: Semenov A.A. Tendencies of development of the Russian commodity lime market. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 4–6. (In Russian).

По итогам 2016 г. объем производства извести в России, согласно оперативным данным Росстата, продолжил сокращаться – выпуск этой продукции составил 11 млн т, что на 1,9% меньше, чем в 2015 г. (рис. 1).

Основной объем производимой в России извести приходится на долю так называемой технологической извести, которая производится для собственных нужд предприятий (преимущественно металлургические заводы, химические комбинаты, сахарные заводы, производители силикатного кирпича и др.) и практически не попадает на свободный рынок. На долю товарной извести в последние годы приходится всего порядка 26% от общего объема производства извести в стране. По оценкам «ГС-Эксперт», в 2016 г. в России было произведено почти 2,9 млн т товарной извести, что на 3,7% меньше, чем в предыдущем году, в том числе объем производства негашеной извести составил 2,8 млн т (-3,8% к уровню 2015 г.), гашеной (гидратной) извести – 0,1 млн т (+1,4%).

Однако в текущем году производство товарной извести начало восстанавливаться. По итогам первого полугодия выпуск товарной извести, по оценкам «ГС-Эксперт», увеличился на 3,8% по сравнению с аналогичным периодом 2016 г. и превысил 1,4 млн т (рис. 2).

В структуре производства негашеной товарной извести в 2016 г. преобладала продукция II сорта по ГОСТ 9179 (содержание активных СаО+MgO 80–90%). Второе место занимает известь III сорта (содержание

активных СаО+MgO менее 80%). На долю производства комовой извести пришлось примерно три четверти от общего объема производства. По сравнению с предыдущим годом наблюдается рост доли производства высококачественной товарной извести: выпуск продукции I сорта вырос на четыре процентных пункта по сравнению с 2015 г., II сорта – на один процентный пункт. В сегменте гидратной извести преобладает продукция I сорта (рис. 3, 4).

«Десятка» ведущих российских производителей товарной извести в последние годы остается достаточно стабильной. По итогам I-го полугодия 2017 г. в нее вошло новое предприятие – известковый завод ГК «Терек» (Тульская обл.), начавшее работу в конце 2015 г. (см. таблицу).

В целом 2015–2016 гг. характеризовались достаточно активным вводом новых производственных мощностей: в 2015 г. были введены в эксплуатацию известковые производства суммарной мощностью не менее 650 тыс. т, в 2016 г. – еще 230 тыс. т. Стоит отметить, что реализация этих проектов началась еще до кризиса. Однако и в настоящее время ведется строительство нескольких новых известковых предприятий. Суммарный объем ввода новых мощностей в ближайшие два года может составить до 600 тыс. т.

На долю отгрузки товарной извести железнодорожным транспортом в 2016 г. пришлось около 42% от об-

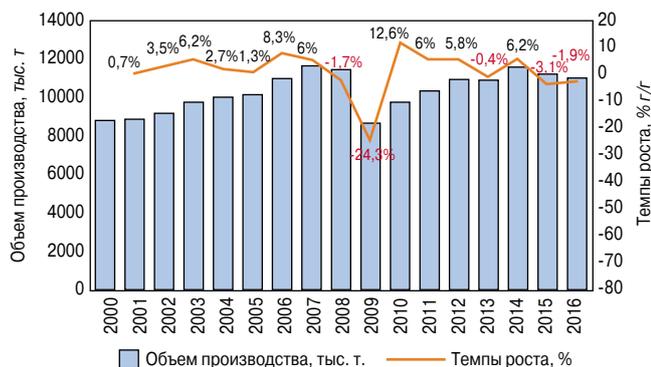


Рис. 1. Объемы и динамика производства извести в России в 2000–2016 гг.
 Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

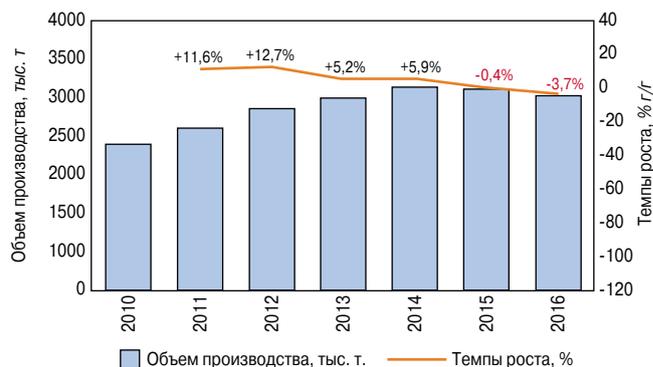


Рис. 2. Объемы и динамика производства товарной извести в России в 2010–2016 гг.
 Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

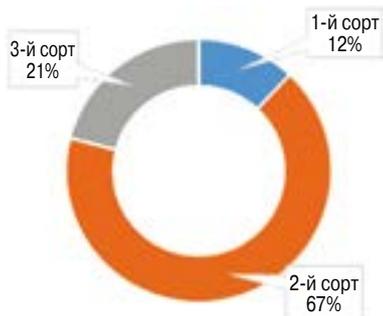


Рис. 3. Товарная структура производства негашеной извести
Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

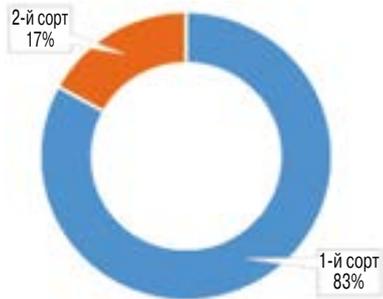


Рис. 4. Товарная структура производства гашеной (гидратной) извести
Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

шего объема реализации данной продукции. По итогам 2016 г. объем отгрузки товарной извести железнодорожным транспортом на внутренний рынок сократился на 14,7% по сравнению с предыдущим годом. При этом поставки негашеной извести снизились на 14,5%, гидратной (гашеной) — на 18,7%. Среднее расстояние доставки извести железнодорожным транспортом в 2016 г. выросло на 15,5% и составило чуть более 1014 км.

В первом полугодии 2017 г. на фоне роста объемов производства товарной извести существенно выросли и ее отгрузки по железной дороге: +9% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года. На долю отгрузки товарной извести железнодорожным транспортом пришлось около 59% от общего объема реализации данной продукции. Среднее расстояние доставки извести железнодорожным транспортом снизилось до 997 км.

В 2015–2016 гг. из-за девальвации рубля объемы импорта существенно сократились. В то же время наблюдается активный рост экспортных поставок. Так, по итогам 2016 г. импорт извести снизился на 6%, в то время как экспортные поставки выросли в 2,8 раза. В 2017 г. эта тенденция сохранилась: объем импорта товарной извести в I полугодии снизился на 24% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года, в то время как объем экспорта вырос на 54% и превысил объемы импортных поставок. При этом с 2016 г. российские известковые заводы стали экспортировать свою продукцию не только в страны СНГ, но и в страны дальнего зарубежья, в частности в Финляндию и Эстонию (рис. 5).

Потребление товарной извести по итогам 2016 г., по оценкам «ГС-Эксперт», снизилось на 7% по сравнению с уровнем предыдущего года, до 2,8 млн т (снижение спроса на известь фиксируется второй год подряд), а не реализованные запасы производителей выросли в

Рейтинг производителей товарной извести по объемам производства

Место в 2016 г.	Изменение по сравнению с 2015 г.	Предприятие
1	+2↑	Солигаличский известковый комбинат (Костромская обл.)
2	-1↓	Придонхимстрой Известь (Воронежская обл.)
3	+1↑	Клинцовский силикатный завод (Брянская обл.)
4	-2↓	Фельс Известь (Калужская обл.)
5	+2↑	Эльдако (Воронежская обл.)
6	↑2	ТД Урализвесть (Свердловская обл.)
7	-2↓	Елецизвесть (Липецкая обл.)
8	-2↓	Угловский известковый комбинат (Новгородская обл.)
9	–	Атомстройкомплекс (Известь Сысерти + Атом) (Свердловская обл.)
10	–	Стройматериалы (Белгородская обл.)

Место по итогам 6 мес 2017 г.	Изменение по сравнению с 2016 г.	Предприятие
1	–	Солигаличский известковый комбинат (Костромская обл.)
3	+1↑	Клинцовский силикатный завод (Брянская обл.)
2	-1↓	Придонхимстрой Известь (Воронежская обл.)
4	+7↑	ТЕРЕКС (Тульская обл.)
5	-1↓	Фельс Известь (Калужская обл.)
6	+4↑	Стройматериалы (Белгородская обл.)
7	-2↓	Эльдако (Воронежская обл.)
8	-1↓	Елецизвесть (Липецкая обл.)
9	-1↓	Угловский известковый комбинат (Новгородская обл.)
10	-1↓	Атомстройкомплекс (Известь Сысерти + Атом) (Свердловская обл.)

Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

1,5 раза, до более чем 130 тыс. т, что является абсолютным максимумом с 2010 г. (рис. 6).

По итогам первого полугодия текущего года рынок товарной извести стал постепенно восстанавливаться — спрос на эту продукцию вырос на 2,4% и превысил 1,4 млн т.

Баланс производство-потребление товарной извести до 2015 г. включительно оставался отрицательным. Максимального значения — около 190 тыс. т дефицит извести достиг в 2014 г. Однако уже в 2015 г. из-за существенного снижения импортных поставок он сократился в 3,2 раза до 60 тыс. т. Доля импортной извести на российском рынке снизилась с 5,5% в 2014 г. до 4,3% в 2015 г. По итогам 2016 г. баланс производство-потребление впервые за последние шесть лет стал положительным, т. е. объемы производства товарной извести в стране превысили уровень спроса на эту продукцию. Профицит оценивается в 45 тыс. т. Эта тенденция сохранилась и в 2017 г.: по итогам января–июня профицит товарной извести оценивается в 22 тыс. т.

Избыток товарной извести в 2016 г. наблюдался в основном в Центральном федеральном округе (около 500 тыс. т), где сосредоточены крупнейшие производители данной продукции, а также в Северо-Кавказском, Уральском и Сибирском округах (10–50 тыс. т в каждом регионе). В остальных округах баланс производство-потребление в этом периоде оставался отрицательным. Наибольший дефицит товарной извести отмечается в Северо-Западном и Приволжском федеральных округах (около 165–200 тыс. т в каждом из регионов).

Основной объем потребления товарной извести (около 33%) приходится на Центральный федеральный

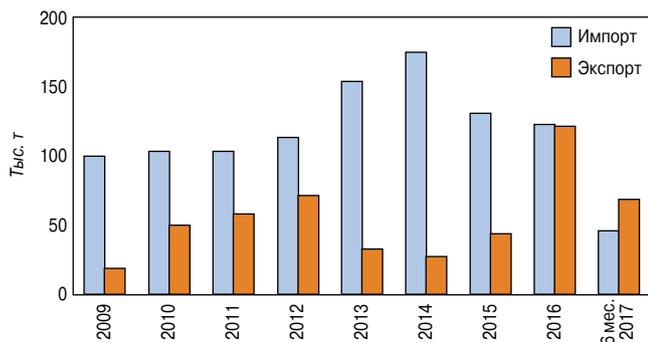


Рис. 5. Объемы внешнеторговых операций с известью в 2009–2017 гг., тыс. т
Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

округ. Второе место по итогам 2016 г. занимает Приволжский округ – около 19%, на третьем месте Уральский округ – около 18%. При этом по итогам 2016 г. рост объемов потребления товарной извести наблюдался только в Южном и Уральском федеральных округах. В первом полугодии 2017 г. региональная структура потребления претерпела незначительные изменения, в частности наблюдался рост доли Центрального федерального округа (до 36%) на фоне сокращения доли Приволжского округа (до 17%).

Среди отдельных регионов страны крупнейшим потребителем товарной извести является Свердловская область – около 320 тыс. т в 2016 г. (11% от общего объема потребления). Также в значительных объемах (более 100 тыс. т в год) товарная известь в 2016 г. потреблялась в Московской, Белгородской, Калужской, Липецкой, Тульской, Вологодской, Ленинградской, Ростовской, Челябинской и Саратовской областях. На долю указанных регионов суммарно пришлось более половины от общего объема потребления товарной извести в стране.

По оценкам «ГС-Эксперт», в 2016 г. около 48% товарной извести было использовано в промышленности строительных материалов (в том числе около 19% для производства силикатного кирпича и около 25% для производства автоклавного газобетона). При этом доля



Рис. 6. Объемы и динамика потребления товарной извести в России в 2010–2016 гг.

Источник: Росстат, оценка «ГС-Эксперт»

этого сегмента потребления снизилась почти на десять процентных пунктов по сравнению с 2015 г.

Второе место по объемам потребления товарной извести в 2016 г. заняли предприятия черной металлургии, третье место разделили предприятия химической промышленности и цветной металлургии. Доли остальных потребляющих отраслей не превышают 5%.

По данным Росстата, средняя цена производителей (без НДС и доставки) на негашеную известь в 2016 г. составила 2895 р./т (+5,4% к уровню 2015 г.), средняя цена на гашеную (гидратную) известь составила 4539 р./т (+1,5%).

По оценкам «ГС-Эксперт», средняя цена на негашеную известь (навал) в 2016 г. составила 3748 р./т, на гашеную – 5000 р./т. По сравнению с 2015 г. средняя прайсовая цена на негашеную товарную известь снизилась на 1,9%, на гашеную – на 10,9%. Несмотря на снижение прайсовых цен, средняя цена реализации негашеной извести в 2016 г. выросла за счет увеличения доли производства высококачественной извести I–II сорта.

Средняя цена производителей на негашеную комовую известь (навал) по итогам I полугодия 2017 г. составила 3490 р./т без НДС и доставки (-1,2% к I полугодию 2016 г.), средняя цена на негашеную порошкообразную известь составила 3964 р./т (-0,3%), на гидратную известь – 5060 р./т (+1,1%).



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

Осуществляет постоянный мониторинг и всесторонний анализ текущей ситуации и основных тенденций на рынках исследуемой

продукции, включая анализ данных о ее производстве и потреблении, экспортно-импортных поставках, сырьевой базе, состоянии ведущих участников рынка, а также законодательства, касающегося этих отраслей.

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

Выполнены работы по:

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

125047, Москва, 1-й Тверской-Ямской пер., д. 18, оф. 230

Тел: (499) 250-48-74, (916) 507-83-77

Факс: (499) 250-48-74

www.gs-expert.ru E-mail: info@gs-expert.ru

УДК 666.9: 691.511: 691.316

Н.В. ЛЮБОМИРСКИЙ, д-р техн. наук (niklub.ua@gmail.com), С.И. ФЕДОРКИН, д-р техн. наук, А.С. БАХТИН, канд. техн. наук, Т.А. БАХТИНА, канд. техн. наук, Т.В. ЛЮБОМИРСКАЯ, инженер

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
(295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, 4)

Исследование влияния режимов принудительного карбонатного твердения на свойства материалов на основе известково-известняковых композиций полусухого прессования

Приводятся результаты исследований формирования свойств известково-известняковых композиций полусухого прессования в зависимости от режимов принудительной карбонизации и рецептурно-технологических факторов их получения. Исследования проведены с помощью экспериментально-статистических моделей методом математического планирования экспериментов с использованием ротатбельного центрального композиционного плана. Рассмотрено влияние динамичного и статичного режимов принудительной карбонизации на формирование прочности на сжатие и водостойкость образцов известково-известняковых композиций полусухого прессования. Показано, что применение более интенсивных способов принудительной карбонизации менее эффективно, чем применение способов с умеренной подачей CO_2 в камеру карбонизации по мере его поглощения образцами. Наиболее целесообразным способом организации ускоренного карбонизационного твердения систем на основе извести может быть комбинированный, который заключается в создании предварительного разрежения в карбонизационной камере с дальнейшей организацией процесса по статичному режиму при умеренных (до 50%) концентрациях CO_2 .

Ключевые слова: известь, известняк, принудительное карбонатное твердение, прочность, водостойкость.

Для цитирования: Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Бахтин А.С., Бахтина Т.А., Любомирская Т.В. Исследование влияния режимов принудительного карбонатного твердения на свойства материалов на основе известково-известняковых композиций полусухого прессования // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 7–12.

N.V. LYUBOMIRSKY, Doctor of Sciences (Engineering) (niklub.ua@gmail.com); S.I. FEDORKIN, Doctor of Sciences (Engineering), A.S. BAKHTIN, Candidate of Sciences (Engineering), T.A. BAKHTINA, Candidate of Sciences (Engineering), T.V. LYUBOMIRSKAYA, Engineer V.I. Vernadsky Crimean Federal University (4, Vernadskogo Prospect, Simferopol, Republic of Crimea, 295007)

Research in Influence of Regimes of Forced Carbonate Hardening on Properties of Materials on the Basis of Lime-Limestone Compositions of Semidry Pressing

Results of the research in forming properties of lime-limestone compositions of semidry pressing depending on the regimes of forced carbonation and prescription-technological factors of their production are presented. The research was conducted with the help of experimental-statistical models by the method of mathematical planning of experiments with the use of a rotatable central composition plan. The influence of dynamic and static regimes of the forced carbonation on the formation of compression strength and water resistance of the samples of lime-limestone compositions of semidry pressing is considered. It is shown that the use of more intensive methods of forced carbonation is less efficient than the use of methods with moderate supply of CO_2 in the carbonizing chamber in the process of its absorption by samples. The most reasonable method of organization of accelerated carbonate hardening of the systems on the basis of lime can be a combined method which is to create a preliminary vacuum in the carbonizing chamber with the further organization of the process in a static regime at moderate (up to 50%) concentrations of CO_2 .

Keywords: lime, lime stone, forced carbonate hardening, strength, water resistance.

For citation: Lyubomirsky N.V., Fedorkin S.I., Bakhtin A.S., Bakhtina T.A., Lyubomirskaya T.V. Research in influence of regimes of forced carbonate hardening on properties of materials on the basis of lime-limestone compositions of semidry pressing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 7–12. (In Russian).

Одной из приоритетных задач современности, которая стоит перед мировой общественностью, является разработка и внедрение различных технологий секвестрации углекислого газа в целях снижения его воздействия на климат [1, 2]. Наибольшее внимание в этом аспекте должно быть уделено разработкам технологий, утилизирующим CO_2 , и производству искусственных материалов с низким эквивалентом CO_2 [3].

Теоретические и практические исследования, проведенные авторами настоящей статьи, базирующиеся на работах известных ученых в области искусственного карбонатного твердения известковых вяжущих [4–6] и получения материалов контактного твердения [7, 8], позволили разработать научно-технологические принципы утилизации углекислого газа в биопозитивные строительные материалы и изделия на основе известково-известняковых композиций полусухого прессования [9, 10]. Научно-практический интерес вызывают вопросы интенсификации процессов принудительного карбонатно-

го твердения подобных систем и формирования свойств получаемых материалов при этом.

В этой связи целью настоящей работы является исследование формирования свойств известково-известняковых композиций полусухого прессования в зависимости от режимов принудительной карбонизации и рецептурно-технологических факторов их получения.

Для достижения поставленной цели применили корреляционно-регрессионные или экспериментально-статистические (ЭС) модели, построенные на основании методов математического планирования экспериментов с использованием ротатбельного центрального композиционного плана (РЦКП) [11, 12]. Было реализовано два четырехфакторных плана, отличающихся способом принудительной карбонизации (динамичный и статичный) известково-известняковых композиций полусухого прессования.

Принцип динамичного способа карбонизации предполагает циклическую карбонизацию опытных образ-

Условия проведения эксперимента

Фактор	Единица измерения	Уровни варьирования				
		-2	-1	0	1	2
Z ₁	%	5	20	35	50	65
Z ₂	МПа	5	15	25	35	45
Z ₃	мас. %	5	10	15	20	25
Z ₄	Количество циклов / время, с	1/180	3/540	5/900	7/1260	9/1620

цов. Один цикл включал несколько последовательных операций: вакуумирование, выдерживание образцов в условиях разрежения, подача газовой смеси CO₂ в камеру карбонизации, выдерживание образцов в среде CO₂ повышенной концентрации. После чего цикл повторялся. Разрежение в камере составляло 5000 Па. Продолжительность одного цикла 180 с. Статичный способ карбонизации состоял в организации обработки образцов углекислым газом без создания разрежения в камере карбонизации. Время карбонизации соответствовало продолжительности при осуществлении циклической карбонизации образцов (1 цикл=180 с).

В эксперименте варьировались: концентрация CO₂ в газовой смеси (Z₁), давление прессования опытных образцов-цилиндров P₀ (Z₂), содержание извести в составе известково-известняковой композиции (Z₃), количество циклов и время воздействия CO₂ на опытные образцы (Z₄). Водосодержание формовочных смесей принято 10 мас. %. Известково-известняковые композиции готовились на извести активностью 80–85% и молотом мраморовидном известняке удельной поверхности около 1500 см²/г. Опытные образцы-цилиндры изготов-

ливали прессованием в пресс-форме d=30 мм. Условия планирования эксперимента представлены в табл. 1.

В качестве основных параметров карбонизированных известково-известняковых образцов анализировались: прочность при сжатии (R_{сж}), средняя плотность (ρ₀), водостойкость (K_р), водопоглощение по массе (W_м) и толщина карбонизированного слоя (δ).

Экспериментальные данные свойств опытных образцов, карбонизируемых динамичным (1) и статичным (2) способами, представлены в табл. 2.

В результате обработки опытных данных были получены ЭС модели каждого исследованного параметра, представляющие собой полиномы второго порядка в общем виде:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i z_i + \sum_{i;1=1}^n b_{ii} z_i z_i + \sum b_{ii} z_i^2 \quad (1)$$

Значимость коэффициентов ЭС моделей определялась с помощью критерия Стьюдента, проверка адекватности описания объекта полиномом второго порядка производилась с помощью F-критерия Фишера. Соответствующие коэффициенты ЭС моделей, позво-

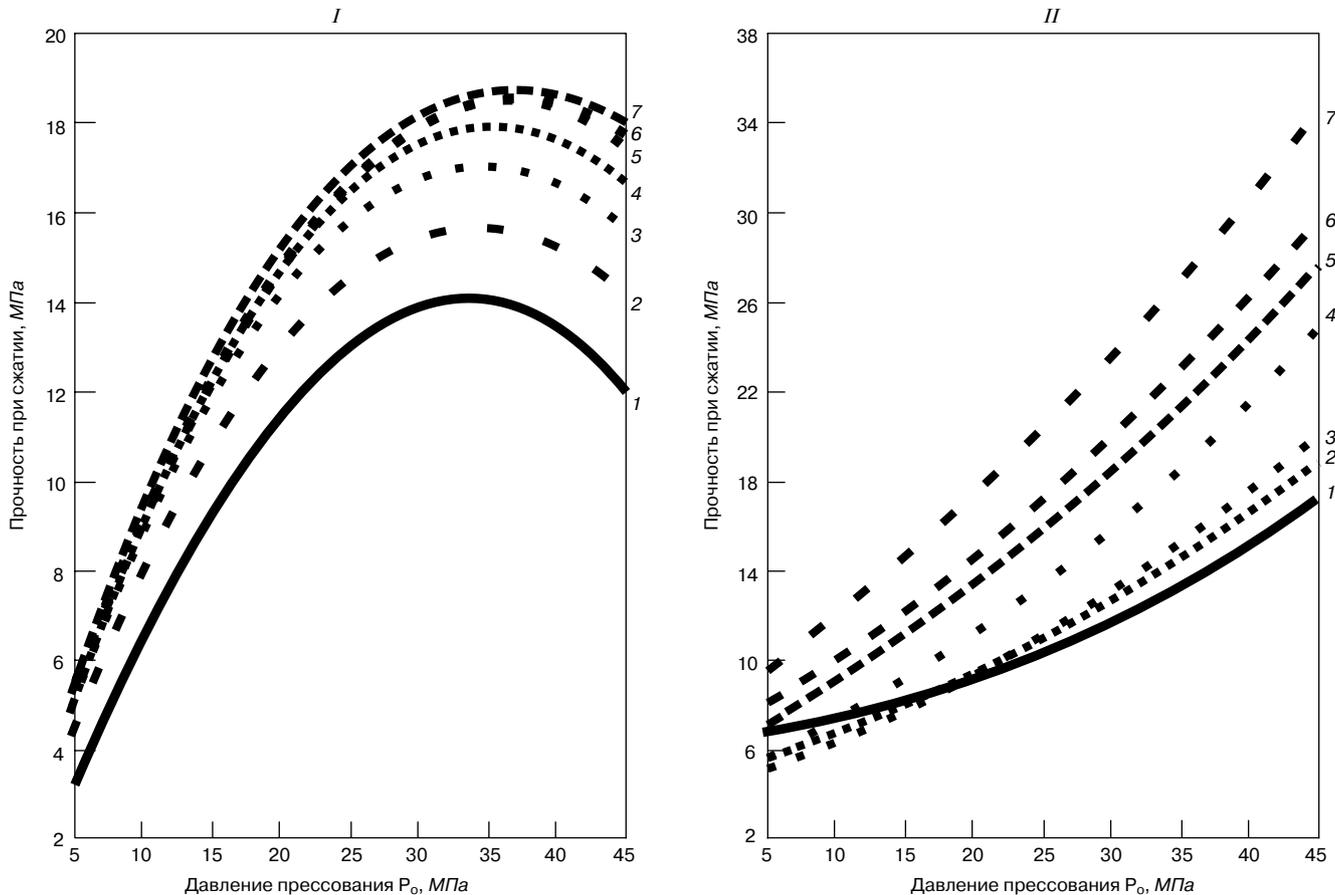


Рис. 1. Изменение предела прочности при сжатии опытных образцов, содержащих 10 мас. % извести, при динамичном (5 циклов) (I) и статичном (900 с) (II) способах карбонизации в зависимости от P₀ и концентрации CO₂, %: 1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 40; 5 – 50; 6 – 60; 7 – 65

Таблица 2

Свойства опытных образцов после карбонизации их динамичным (1) и статичным (2) способами

№ г	Фактор				Оптимизируемые параметры									
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	R _{сж} , МПа		ρ _о , г/см ³		K _p		W _m , %		δ, мм	
					1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	1	1	27,36	34,47	2,101	2,05	0,7	0,71	10,1	9,91	1,33	3
2	-1	1	1	1	19,81	15,4	2,063	2,064	0,65	0,7	10,44	10,53	2,67	3,33
3	1	-1	1	1	19,44	19,47	1,976	1,978	0,8	0,75	12,78	12,68	5,33	6
4	-1	-1	1	1	15,76	13,2	1,983	1,953	0,86	0,89	12,34	12,43	6,67	7,67
5	1	1	-1	1	20,29	26,17	2,174	2,211	0,87	0,7	9,01	9,2	6	7,67
6	-1	1	-1	1	15,66	16,73	2,142	2,15	0,72	0,7	9,44	9,34	3	3,67
7	1	-1	-1	1	13,83	14,03	2,095	2,104	0,85	0,85	11,71	11,8	12	12,33
8	-1	-1	-1	1	13,4	13,77	2,023	2,024	0,82	0,81	11,31	11,29	10,33	11
9	1	1	1	-1	21,8	19,87	2,066	2,018	0,59	0,62	10,56	10,66	4	4,17
10	-1	1	1	-1	23,5	22,77	2,065	2,066	0,59	0,6	10,18	10,22	2,33	2,83
11	1	-1	1	-1	14,34	15,33	1,966	1,952	0,73	0,68	12,5	12,68	6,67	6,67
12	-1	-1	1	-1	14,44	15,23	1,957	1,954	0,55	0,55	12,82	12,72	2,33	2,67
13	1	1	-1	-1	16,52	21,67	2,132	2,137	0,73	0,75	9,12	9,38	5,67	8
14	-1	1	-1	-1	15,66	17,57	2,149	2,154	0,63	0,63	9,48	9,34	7	6
15	1	-1	-1	-1	11,32	11,77	2,052	2,05	0,63	0,63	11,53	11,52	6,67	7,17
16	-1	-1	-1	-1	8,59	4,53	2,08	1,959	0,77	0,63	11,65	12,27	4,67	4,83
17	2	0	0	0	18,21	18,47	2,098	2,088	0,82	0,8	10,59	10,51	9,67	9,5
18	-2	0	0	0	13,49	10,67	2,083	2,12	0,59	0,65	11,19	11,77	3	3,33
19	0	2	0	0	19,06	18,23	2,17	2,149	0,72	0,75	9,06	9,13	3,33	2,67
20	0	-2	0	0	5,47	7,17	1,827	1,907	0,79	0,73	15,05	14,81	9,67	9,33
21	0	0	2	0	19,91	20,2	1,987	1,988	0,65	0,65	11,96	11,74	2,67	3,17
22	0	0	-2	0	11,51	12,37	2,144	2,154	0,76	0,75	10	9,8	9,33	9,17
23	0	0	0	2	20,19	22,73	2,077	2,074	0,58	0,71	10,63	11,17	5,33	5,17
24	0	0	0	-2	11,32	9,27	2,043	1,96	0,67	0,58	11,03	11,6	3	2,67
25	0	0	0	0	19,16	13,67	2,063	2,034	0,63	0,67	10,42	11	3,33	4
26	0	0	0	0	19,96	12,67	2,078	2,052	0,72	0,68	10,55	10,74	4,67	4,83
27	0	0	0	0	18,68	13,6	2,072	2,047	0,72	0,64	10,31	10,5	4,33	4,67
28	0	0	0	0	19,01	13,73	2,073	2,051	0,65	0,64	10,39	10,55	4,33	4,17
29	0	0	0	0	18,85	13,63	2,075	2,023	0,69	0,65	10,45	10,71	4,33	4,17
30	0	0	0	0	18,95	13,37	2,065	2,047	0,68	0,63	10,31	10,47	3,33	3,67
31	0	0	0	0	19,2	13,63	2,075	2,049	0,69	0,66	10,34	10,53	4	4,33

ляющие оценить влияние каждого из изучаемых факторов на свойства карбонизированных образцов-цилиндров, сведены в табл. 3.

Оценка влияния отдельных технологических факторов показывает, что значимость их влияния на формирование свойств материалов на основе извести карбонизационного твердения в зависимости от выбранного способа организации принудительной карбонизации различна. Если при динамичном способе карбонизации наиболее влияющими можно назвать факторы получения опытных образцов, т. е. Z₂ и Z₃, то при статичном способе определяющую значимость приобретают факторы, отвечающие непосредственно за процесс карбонизационного твердения, – Z₁ и Z₄.

Основными факторами, влияющими на прочность и среднюю плотность опытных образцов известково-известняковых композиций, карбонизация которых про-

ходила в динамичном режиме, являются давление прессования и содержание извести. Увеличение значений всех факторов повышает R_{сж} образцов. Средняя плотность известково-известняковых композиций карбонизационного твердения снижается с увеличением содержания в составе извести. Среди коэффициентов взаимодействия факторов на прочность при сжатии наибольшее значение имеет b₁₄, свидетельствующий, что R_{сж} увеличивается с ростом концентрации CO₂ и продолжительности (количества циклов) процесса карбонизации, причем от последнего фактора в большей степени. При статичном режиме карбонизации R_{сж} более заметными становятся технологические факторы Z₃ и Z₄, а наименее значимым является содержание известкового вяжущего (Z₂).

Графическая обработка экспериментальных и расчетных данных ЭС моделей формирования проч-

Коэффициенты ЭС моделей изменения основных свойств опытных образцов, полученных динамичным (1) и статичным (2) способами

Обозначение коэффициентов	Коэффициенты ЭС моделей исследуемых параметров в зависимости от способа карбонизации									
	$R_{сж}$, МПа		ρ_o , г/см ³		K_p		W_m , мас. %		δ , мм	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
b_o	18,97	23,04	2,072	2,043	0,68	0,66	9,97	10,64	4,05	4,26
b_1	1,15	2,47	0,005	±0	0,03	0,02	-0,06	-0,12	0,92	1,06
b_2	3,195	3,73	0,06	0,057	-0,03	-0,01	-1,26	-1,26	-1,47	-1,38
b_3	2,42	1,88	-0,041	-0,045	-0,03	-0,02	0,52	0,48	-1,56	-1,51
b_4	1,55	2,14	0,007	0,02	0,04	0,05	-0,06	-0,1	0,53	0,72
b_{11}	-0,43	0,84	0,006	0,015	0,01	0,02	-0,19	0,07	0,52	0,61
b_{22}	-1,33	0,37	-0,017	±0	0,02	0,02	-0,48	0,28	0,56	0,51
b_{33}	-0,47	1,27	±0	±0	0,01	0,01	0,21	±0	0,43	0,55
b_{44}	-0,46	1,2	±0	-0,007	-0,01	±0	0,17	0,13	±0	±0
b_{12}	0,29	0,99	±0	-0,013	0,02	0,01	-0,07	±0	-0,29	±0
b_{13}	0,05	±0	±0	-0,016	±0	-0,01	0,04	±0	±0	±0
b_{14}	0,91	1,66	0,011	±0	±0	-0,02	0,03	±0	-0,29	±0
b_{23}	0,47	-0,55	0,004	-0,01	-0,02	-0,01	±0	±0	±0	±0
b_{24}	-0,51	±0	-0,003	±0	-0,02	-0,04	±0	±0	-1,25	-1,19
b_{34}	-0,18	±0	0,003	±0	±0	0,01	±0	±0	-0,42	±0

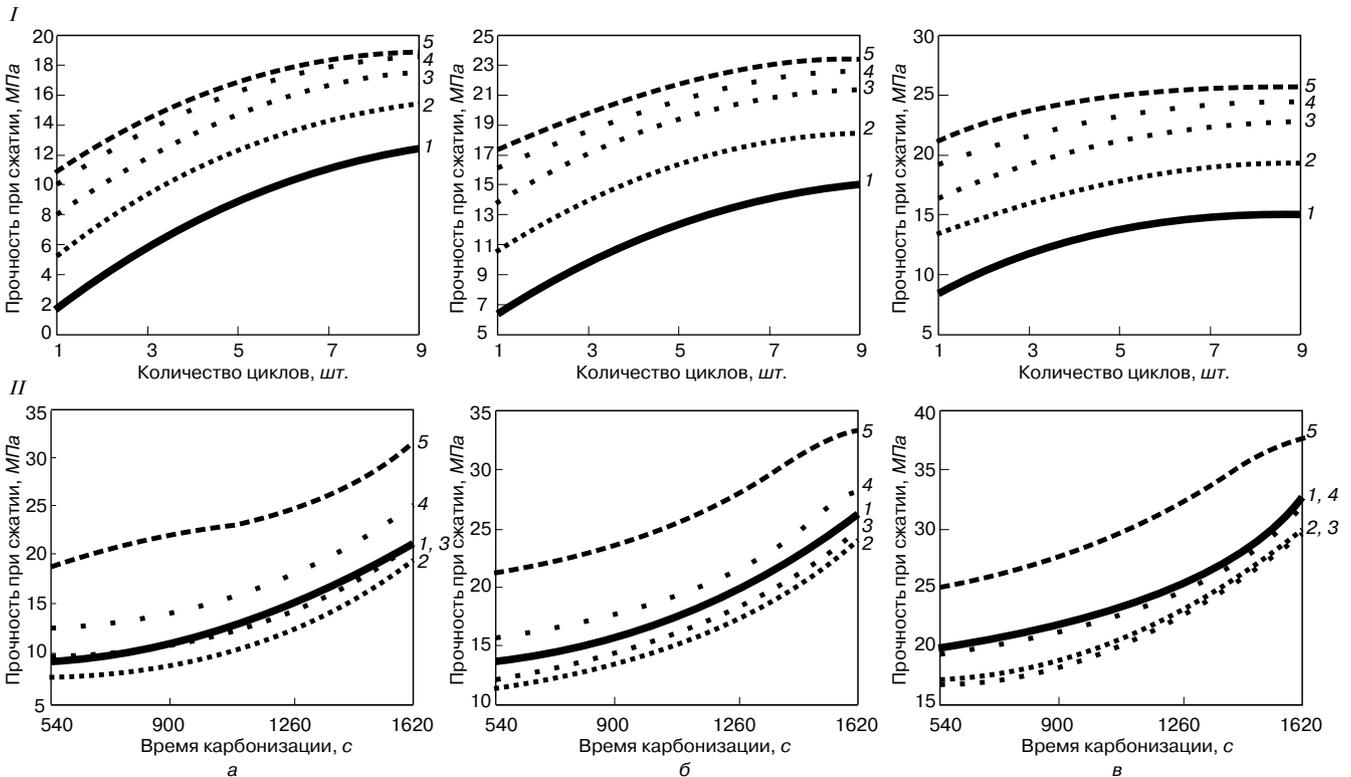


Рис. 2. Изменение предела прочности при сжатии опытных образцов, изготовленных полусухим прессованием при давлении прессования 15 (а), 25 (б) и 35 (в) МПа, карбонизированных динамичным (I) и статичным (II) способами в газовой среде с концентрацией CO₂ 40%, в зависимости от количества циклов карбонизации и содержания извести в составе сырьевой смеси, мас. %: 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25

ностных показателей исследуемых систем в зависимости от влияния изучаемых факторов при различных режимах карбонизации представлена на примерах (рис. 1, 2).

Как видно из рис. 1, прочность при сжатии опытных образцов растет с увеличением концентрации углекис-

лого газа и давления прессования, однако характер изменения $R_{сж}$ кардинально отличается в зависимости от способа карбонизации.

При динамичном способе $R_{сж}$ увеличивается при увеличении концентрации CO₂ в газовой смеси до 50%. С увеличением концентрации CO₂ $R_{сж}$ практи-

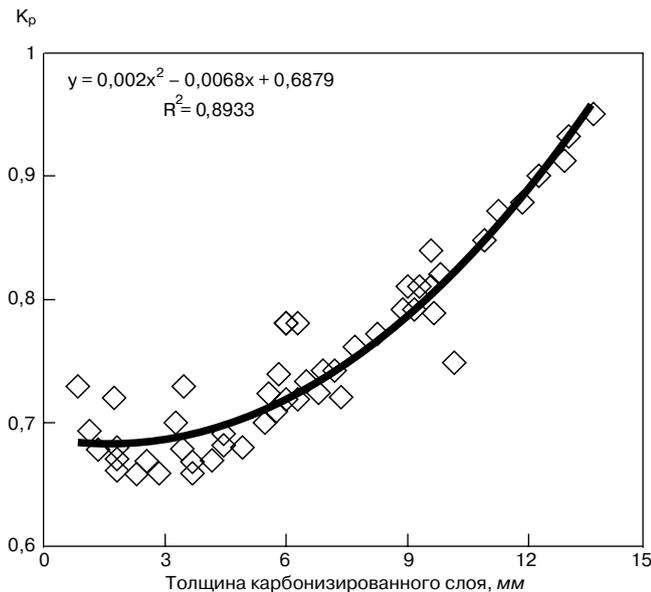


Рис. 3. Зависимость водостойкости известково-известняковых композиций от толщины карбонизированного слоя

чески не изменяется. Можно предположить, что с дальнейшим повышением концентрации CO_2 $R_{\text{сж}}$ будет снижаться из-за развивающейся коррозии и растворения новообразованных кристаллов CaCO_3 [13].

Прослеживается определенная закономерность зависимости $R_{\text{сж}}$ образцов известково-известняковых композиций от P_0 : $R_{\text{сж}}$ растет с увеличением P_0 до 33–38 МПа, при более значительных значениях P_0 прочность карбонизированных образцов снижается. При статичном способе обработки композиций CO_2 (рис. 1, II) наблюдается обратная картина: прочность образцов увеличивается как с увеличением концентрации CO_2 в камере карбонизации, так и с увеличением давления прессования образцов и достигает значений 34 МПа. При динамичном способе карбонизации за счет резкой подачи значительного количества CO_2 в камеру (после вакуумирования) происходит мгновенная карбонизация значительного количества частиц извести, что приводит к образованию в системе большого количества воды, которая закупоривает поры в материале, затрудняет доступ CO_2 к частицам извести и способствует возникновению в системе агрессивной углекислоты, которая понижает pH и создает условия для растворения и коррозии кристаллов кальцита новообразованной карбонатной структуры [13]. Поскольку с увеличением P_0 количество и размер пор в материале уменьшаются, то и поры быстрее заполняются водой.

Исходя из опытно-расчетных данных ЭС моделей для карбонизации композиций на основе извести полу-

сухого прессования с повышением давления прессования необходимо увеличивать либо концентрацию CO_2 , либо время выдерживания в среде с умеренными концентрациями CO_2 . Применение ускоренных способов карбонизации известковых материалов неэффективно при высоких концентрациях углекислого газа в камере карбонизации (более 50%). Учитывая тот факт, что при высоких концентрациях углекислого газа в структуре материала развиваются дефекты, более целесообразным является увеличение времени карбонизации.

Исследование влияния количества циклов при динамичном способе карбонизации на изменение $R_{\text{сж}}$ образцов (рис. 2, I) показывает, что в целом прочность растет с увеличением количества циклов карбонизации и с увеличением количества извести в составе смеси. Однако с увеличением количества циклов (более пяти) рост прочности замедляется. Прочность при сжатии образцов при статическом способе карбонизации (рис. 2, II) в отличие от динамичного способа, напротив, с увеличением времени обработки их углекислотной средой увеличивается и к 1620 с при содержании извести 25 мас. % и $P_0=35$ МПа составляет 37,3 МПа, что на 45% превышает прочность образцов, полученных динамичным способом.

Важным свойством материалов на основе извести, определяющим их долговечность, является водостойкость. Из полученных ЭС моделей видно, что K_p образцов независимо от способа карбонизации практически в равной степени зависит от факторов Z_4 и Z_3 . При повышении данных факторов в пределах эксперимента водостойкость опытных образцов увеличивается. Этот факт является ожидаемым, поскольку водостойкость определяет степень карбонизации известкового вяжущего и сформированность карбонатной структуры материала, которые и зависят от данных технологических условий.

Одним из косвенных показателей степени карбонизации и формирования карбонатной структуры является толщина карбонизированного слоя. Исходя из опытных данных зависимости K_p от δ (рис. 3) материал приобретает свойства водостойкого ($K_p \geq 0,8$) при $\delta > 9$ мм.

В целом, оценивая экспериментально-расчетные данные влияния принудительного карбонатного твердения на формирование $R_{\text{сж}}$ опытных образцов, можно констатировать, что применение более интенсивных способов принудительной карбонизации менее эффективно, чем применение способов с умеренной подачей CO_2 в реактор по мере его поглощения образцами. На наш взгляд наиболее целесообразным способом организации ускоренного карбонизационного твердения известковых композиций может быть комбинированный, заключающийся в создании предварительного разрежения в камере карбонизации с дальнейшей организацией процесса по статическому режиму при умеренных концентрациях CO_2 .

Список литературы

1. Barros V.R., Field C.B., Dokken D.J., Mastrandrea M.D. at all. IPCC 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge – New York: Cambridge University Pres. 2014. 688 p.
2. Череповицын А.Е., Сидорова К.И., Смирнова Н.В. Целесообразность применения технологий секвестрации CO_2 в России // *Нефтегазовое дело: Электронный научный журнал*. 2013. № 5. С. 459–473. http://ogbus.ru/authors/CherapovitsynAE/CherapovitsynAE_1.pdf (дата обращения 12.07.2016).

References

1. Barros V.R., Field C.B., Dokken D.J., Mastrandrea M.D. at all. IPCC 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge – New York: Cambridge University Pres. 2014. 688 p.
2. Cherepovitsyn A.E., Sidorova K.I., Smirnova N.V. CCS technologies and feasibility of their application CO_2 in Russia. *Neftegazovoe delo: elektronnyy nauchnyy zhurnal*. 2013. No. 5, pp. 459–473. http://ogbus.ru/authors/CherapovitsynAE/CherapovitsynAE_1.pdf (Date of access 12.07.16). (In Russian).



3. Пастори З., Борчок З., Горбачева Г.А. Баланс CO₂ различных видов стеновых конструкций // *Строительные материалы*. 2015. № 12. С. 76–77.
4. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties to Produce High Grade Building // *Rock Products*. 1956. August. P. 182–186; September. P. 84–90.
5. Зацепин К.С. Известковые карбонизированные строительные материалы // *Сборник материалов Московского научно-технического совещания по жилищно-гражданскому строительству, строительным материалам и проектно-исследовательским работам*. М.: Московская правда, 1952. Т. II. С. 283–290.
6. Moorehead A. Cementation by the carbonation of hydrated lime // *Cement and Concrete Research*. 1986. Vol. 16. September. P. 700–708.
7. Глуховский В.Д., Рунова Р.Ф., Максун С.Е. Вяжущие и композиционные материалы контактно-го твердения. Киев: Вища школа, 1991. 244 с.
8. Чернышев Е.М., Потамошнева Н.Д., Артамонова О.В. Концепции и основания технологии наномодифицирования структур строительных композитов. Часть 4. Золь-гель технология нано-, микродисперсных кристаллов портландита для контактно-конденсационного компактирования структур портландитового камня и композитов на его основе // *Строительные материалы*. 2015. № 11. С. 65–73.
9. Федоркин С.И., Любомирский Н.В., Лукьянченко М.А. Системы на основе извести карбонизационного твердения // *Строительные материалы*. 2008. № 11. С. 45–47.
10. Любомирский Н.В., Федоркин С.И. Научно-технологические принципы утилизации углекислого газа в биопозитивные строительные изделия // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2016. № 4. С. 39–49.
11. Ермаков С.М., Жиглявский А.А. Математическая теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 1987. 318 с.
12. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М.: Наука, 1965. 340 с.
13. Cizer O., Van Balen K., Van Gemert D. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders // *Proceedings of the 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering*. 2008. P. 149–158.
3. Pastori Z., Borchok Z., Gorbachova G.A. Balans of CO₂ of Different Types of Wall Structures. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 12, pp. 76–77. (In Russian).
4. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties to Produce High Grade Building. *Rock Products*. 1956. August, pp. 182–186; September, pp. 84–90.
5. Zatsepin K.S. Carbonized lime building materials. *Collection of materials of the Moscow scientific and technical meeting on construction engineering construction, structural materials and design and exploration work*. Moscow: Moscovskaya pravda. 1952. Vol. 16, pp. 283–290. (In Russian).
6. Moorehead A. Cementation by the carbonation of hydrated lime. *Cement and Concrete Research*. 1986. Vol. 16. September, pp. 700–708.
7. Glukhovskiy V.D., Runova R.F., Maksunov S.E. Vyazushchie i kompozitsionnye materialy kontaktnogo tverdeniya [Binders and composite materials of the contact hardening]. Kyev: Vishshaya shkola. 1991. 244 p.
8. Chernyshev E.M., Potamoshneva N.D., Artamonova O.V. The concept and base technology of nano-modification of building composites structures. Part 4. Sol-gel technology of nano-, ultrafine portlandite crystals for a contact-condensation compaction structures portlandite stone and composites on its basis. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 11, pp. 65–73. (In Russian).
9. Fedorkin S.I., Lyubomirskii N.V., Luk'yanchenko M.A. Systems based on lime of carbonization hardening. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2008. No. 11, pp. 45–47. (In Russian).
10. Lyubomirskii N.V., Fedorkin S.I. Scientific and technological principles of disposal of carbon dioxide in food-grade, biodegradable building products. *Biosfernaya sovmezhnost: chelovek, region,ologii*. 2016. No. 4, pp. 39–49. (In Russian).
11. Ermakov S.M., Zhiglyavskiy A.A. Matematicheskaya teoriya optimal'nogo eksperimenta [The mathematical theory of optimal experiment]. Moscow: Nauka. 1987. 318 p.
12. Nalimov V.V., Chernova N.A. Statisticheskiye metody planirovaniya ekstremalnih experimentov [Statistical methods of planning extreme experiments]. Moscow: Nauka. 1965. 340 p.
13. Cizer O., Van Balen K., Van Gemert D. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. *Proceedings of the 2nd International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering*. 2008, pp. 149–158.

ПОДПИСКА НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ ЖУРНАЛА



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

Известь и карбонатное твердение — следующая ступень эволюции производства строительных материалов

Рынок строительных материалов и его влияние на технологии производства строительных материалов

В 2016 г. в условиях кризиса в РФ продолжается сокращение производства основных строительных материалов, изделий и конструкций: кирпича на 17%, а по некоторым данным на 22%, газобетона на 9,1%. Производство стеновых материалов в целом по сравнению с 2015 г. снизилось на 16%, сократилось производство бетона, цемента и других строительных материалов. В денежном выражении это сокращение произошло в 1,3–1,5 раза больше, что свидетельствует также о снижении цен на строительные материалы. Тенденция к сокращению объемов производства и падению цен во многом продолжает сохраняться и сейчас.

Оба эти фактора ставят на грань выживания многие предприятия и лишают прибыли их собственников.

Причины, вызвавшие сокращение рынка основных строительных материалов, имеют временный характер и связаны с общим экономическим спадом. Однако наряду с этим есть и постоянные тенденции, обусловленные вытеснением более дорогих в производстве и применении материалов менее дорогими, но более эффективными. Примером тому может служить снижение на рынке стеновых материалов доли кирпича, которое компенсируется увеличением доли более легких и энергоэффективных изделий из газобетона, керамических камней высокой пустотности.

Все большее влияние на долевое соотношение различных строительных материалов оказывает экологический фактор. При этом имеет значение как экологическая чистота самого производства, так и экологические показатели материалов при эксплуатации.

Общий экономический спад ужесточает требования к качественным показателям материалов, их экологичности и рыночной стоимости, заставляя бизнес-сообщество активнее заниматься поиском решения вопросов снижения себестоимости производства и повышения качества продукции.

Ситуация складывается достаточно сложная, однако совсем небезнадежная. Понятно, что для адаптации к новым условиям рынка нужно что-то менять.

ООО «Канон» уже много лет успешно занимается вопросами разработки и внедрения инновационных решений в области производства строительных материалов. Разрабатывая новые технологии и оборудование для производства строительных материалов, компания анализирует мировой опыт и генерирует свои предложения, которые позволяют решать поставленные технические задачи более эффективно. Технические решения, положенные в основу новых разработок, как правило, имеют мировую новизну, что подтверждается полученными патентами на изобретения как на технологии, так и на оборудовании.

Для повышения эффективности производства компания «Канон» предлагает как технологии, которые находятся на стадии промышленного внедрения, так и новые экспериментальные разработки, но с уже полученными положительными результатами исследований. Профессиональная состоятельность компании подтверждается успешной работой многих предприятий, которые в свое время доверили решение вопроса стратегического развития. Заводы по производству облицовочного кирпича в Украине, Казахстане, Узбекистане, Азербайджане и других странах, во многих регионах России, поставленные компанией «Канон», вытесняют более старые технологии. Полностью автоматизированная линия по производству облицовочного кирпича в Белоруссии мощностью 15 млн шт. кирпича в год сейчас является самой передовой в мире среди всех производств кирпича на цементном вяжущем.

В настоящее время ООО «Канон» предлагает для производителей извести и предприятий, использующих известь в качестве вяжущего в своей технологии, ряд новых технологических решений:

- компактную высокопроизводительную печь для обжига известняка на известь с получением чистого углекислого газа в качестве полноценного продукта (рис. 1);
- компактную высокопроизводительную печь для обжига известняка на известь на твердом топливе (уголь, опилки, стружки, солома и др.) (рис. 2);
- оборудование (автоматизированные линии) для производства высококачественных облицовочных изделий на известковом вяжущем карбонатного твердения (рис. 3);



Рис. 1. Печь прямого обжига «Вулкан»



Рис. 2. Общий вид печи косвенного обжига «Каскад»



Рис. 3. Автоматизированная линия для производства высококачественных облицовочных изделий на известковом вяжущем карбонатного твердения



Рис. 4. Автоматический 4-позиционный револьверный пресс полусухого прессования П3200-Патриот



Рис. 5. Разрез печи косвенного обжига «Каскад»



Рис. 6. Разрез печи прямого обжига «Вулкан»

- оборудование (автоматизированные линии) для производства нового конструктивно-теплоизоляционного строительного материала – флоралит. Для предприятий, производящих керамические (грубая керамика) строительные материалы:
- автоматизированные комплексы для финишной подготовки полусухих смесей;
- высокоэффективные компактные печи сверхскоростного (4 ч) обжига пустотных изделий;
- технологию и оборудование для формования высокопустотных крупногабаритных камней из глинистого сырья при влажности 10–12%, позволяющие повысить качество изделий и сократить энергозатраты на производство (рис. 4);
- полностью автоматизированные технологические комплексы по производству облицовочного керамического кирпича;
- полностью автоматизированные технологические комплексы по производству облицовочного керамического камня высокой пустотности.

Новые печи для обжига известняка на известь

В технологии производства извести разработан достаточно широкий спектр тепловых агрегатов: высокоэкономичные шахтные печи, производительные вращающиеся печи, печи псевдокипящего слоя для мелкодисперсного материала, а также их модификации. Однако, как показывает современный уровень известковой промышленности, этого недостаточно для повышения экономической эффективности и успешного решения экологических вопросов.

В существующих печах для обжига карбоната кальция в качестве продукта получается в основном один компонент – известь, а другой – углекислый газ – не только не становится продуктом, но и выбрасывается в трубу, загрязняя и без того не слишком чистую окружающую среду. Помимо парникового эффекта подобный подход неизбежно приводит любое производство извести к экологическим сбоям и штрафам за вредные выбросы.

Современная известковая промышленность до сих пор не располагает технологией, позволяющей из карбоната

кальция в результате его разложения получить два чистых продукта. Но если кроме извести в виде продукта получить чистый углекислый газ, куда девать такое количество углекислоты? На этот вопрос компания «Канон» предлагает свое решение.

Если к гашеной извести добавить какой-нибудь инертный материал, например известняк или солому, перемешать, спрессовать и после этого поместить в среду с повышенным содержанием углекислого газа, то материал быстро затвердеет и произойдет это в зависимости от режима за 3–15 мин.

С помощью такой технологии можно получить облицовочные, теплоизоляционные и конструктивно-теплоизоляционные материалы на известковом вяжущем карбонатного твердения.

Количество углекислоты для осуществления ускоренной карбонизации строительных материалов составляет примерно 50–60% от углекислоты, полученной при обжиге известняка (0,4–0,5 кг на каждый килограмм использованной извести). Остальная углекислота может быть поставлена на рынок в качестве товара, и цена этого товара в 2–4 раза выше цены самой извести. Если же собственного производства материалов на карбонатном вяжущем нет, то на каждый килограмм извести будет приходиться около 0,8 кг товарной углекислоты.

В печах «Каскад», которые в настоящее время разработаны ООО «Канон», затраты энергии на обжиг приближаются к теоретическим затратам на осуществление реакции декарбонизации, при этом с каждого 1 м³ печного пространства, включая холодильник, можно получать около 1 т готовой извести в час и около 800 кг углекислоты (данные расчетные) практически без дополнительных затрат. Отличительная особенность этих печей состоит в возможности использования мелкодисперсного сырья (фракции 0,3–3 мм), в том числе с низкой прочностью.

Печь может работать на газовом топливе, а для небольших производств и на электроэнергии.

Конструктивно печь выполнена в виде множества параллельных зигзагообразных каналов, в которые сверху дозированно подается карбонатный песок, а снизу навстречу падающему по зигзагообразным каналам песку подается углекислый газ. В средней части каналов рас-

полагаются газовые или электрические нагреватели (рис. 5).

Начиная падение, частицы песка нагреваются встречным потоком углекислого газа, поднимающегося из середины печи (зоны декарбонизации). Далее, попадая в зону с нагревателями, карбонат кальция разлагается на оксид кальция и углекислый газ. Продолжая падение, частицы CaO охлаждаются встречным потоком углекислого газа, подаваемого снизу в каналы печи. Вниз из зигзагообразных каналов высыпается охлажденная известь, а вверх из каналов выходит охлажденный поступающим известняком углекислый газ в чистом виде.

Еще одно интересное решение – простая и эффективная известеобжигательная печь малой производительности мощностью 0,1–1 т/ч на твердом топливе «Вулкан» (рис. 6). Печь предназначена для обжига мелкодисперсного известняка и работает на твердом топливе. Задача, решаемая этой печью, – обеспечение известью небольших предприятий с использованием при обжиге бросовых энергоресурсов: опилок, стружки, соломы, угольной пыли и др. Например, для производителей силикатного кирпича, покупающих известь, такая печь может стать оптимальным решением для снижения себестоимости продукции.

Печь не требовательна к составу и качеству потребляемого топлива, имеет сверхмалые размеры (с 1 м³ печного пространства, включая холодильник, обеспечивается выход готовой извести более 1000 кг) и проста в эксплуатации. Может использоваться в удаленных поселениях, может исполняться в мобильном варианте.

Обжиг известняка происходит за счет горения смешанного с ним топлива. Оригинальное техническое решение позволяет во время горения мелкой фракции топлива исключить разделение его частиц и частиц известняка, а также сепарацию различных фракций известняка вследствие действия газового потока. Концентрация углекислоты в газах, выходящих из такой печи, может достигать 50%, что делает эффективным использование их для ускоренной карбонизации изделий на известковом вяжущем.

Общими признаками новых печей обоих типов является компактность, высокая удельная производительность, экономичность (высокая степень рекуперации, благодаря чему расход на получение 1 т извести составляет около 120 кг усл. топлива) и очень малая инерционность – запуск и остановка печей выполняется за считанные **минуты**.

Также необходимо отметить, что обжиг известняка в этих печах гарантирует возможность получения мягко обожженной извести I сорта.

Применение новых печей ООО «Канон» может способствовать развитию новых технологий производства строительных материалов на известии карбонатного твердения вместо цемента, а этот фактор, в свою очередь, будет стимулировать увеличение доли извести на рынке вяжущих материалов и способствовать активному развитию всей отрасли.

Оборудование для производства облицовочных и конструкционно-теплоизоляционных карбонатных строительных материалов

Применение новых печей, разработанных ООО «Канон» для обжига известняка и получения углекислого газа, способствует внедрению технологий производства новых строительных материалов, в которых цемент заменен на известь. В условиях экономического спада одним из главных преимуществ материалов карбонатного твердения является низкая себестоимость.

В настоящее время можно выделить два типа материалов на известковом вяжущем карбонатного твердения, которым соответствуют два различных типа технологических процессов.



Рис. 7. Облицовочный кирпич, полученный методом ускоренной карбонизации. Марка – 200, пустотность – 40%, водопоглощение – 7,5%, морозостойкость – более 100 циклов

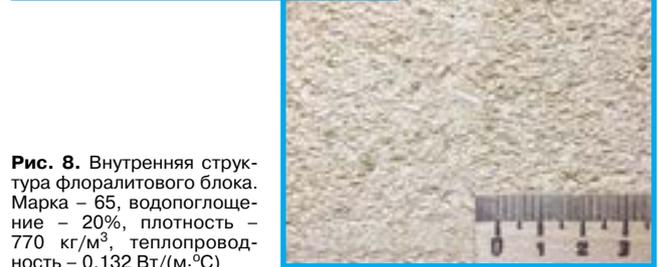


Рис. 8. Внутренняя структура флоралитового блока. Марка – 65, водопоглощение – 20%, плотность – 770 кг/м³, теплопроводность – 0,132 Вт/(м·°С)

К *первому типу* карбонатных материалов можно отнести материалы с плотной структурой низкой газопроницаемости. Условно это материалы с плотностью более 1500 кг/м³ (рис. 7). Ко *второму типу* можно отнести материалы, имеющие газопроницаемую структуру и плотность менее 1500 кг/м³ (рис. 8). Каждому типу материала соответствует свой тип технологического процесса.

Последовательность технологических этапов для производства плотных материалов:

1. Подготовка смеси для прессования, включающая дозирование, измельчение компонентов и гашение извести, если используется негашеная известь.
2. Формование изделий (как правило, методом полусухого прессования или вибропрессования) с извлечением изделий из формы.
3. Ускоренная карбонизация путем погружения отформованных изделий в газовую среду с повышенным содержанием углекислого газа.

Последовательность технологических этапов для производства менее плотных, газопроницаемых материалов:

1. Подготовка смеси для прессования, включающая дозирование, измельчение компонентов и гашение извести, если используется негашеная известь.
2. Формование изделий методом прессования без извлечения изделий из формы.
3. Ускоренная карбонизация путем прокачивания газовой смеси с повышенным содержанием углекислого газа через отформованные изделия, находящиеся в форме.

Каждый этап технологии имеет различные варианты реализации, зависящие от конкретной задачи, исходного сырья и имеющихся ресурсов.

Принципиальное значение для технологического процесса имеет концентрация используемого углекислого газа. При использовании чистого CO₂ процесс искусственной карбонизации проходит значительно быстрее (для облицовочного кирпича 10–20 мин) и происходит в специальных камерах. При использовании газовой смеси с содержанием углекислого газа 10–55% процесс карбонизации происходит значительно дольше и длится 8–12 ч.

Общим свойством всех процессов карбонатного твердения извести является отсутствие необходимости затрачивать тепловую энергию. Более того, в процессе карбонизации выделяется большое количество низкопотенциального тепла, которое можно использовать для отопления производственных зданий, теплиц, предварительной сушки карбонатного сырья перед обжигом на известь и других целей.

Еще одна важная особенность технологий ООО «Канон» – высокая скорость технологических процессов и исключительная компактность оборудования. Ниже приведены схемы наиболее востребованных производственных линий.

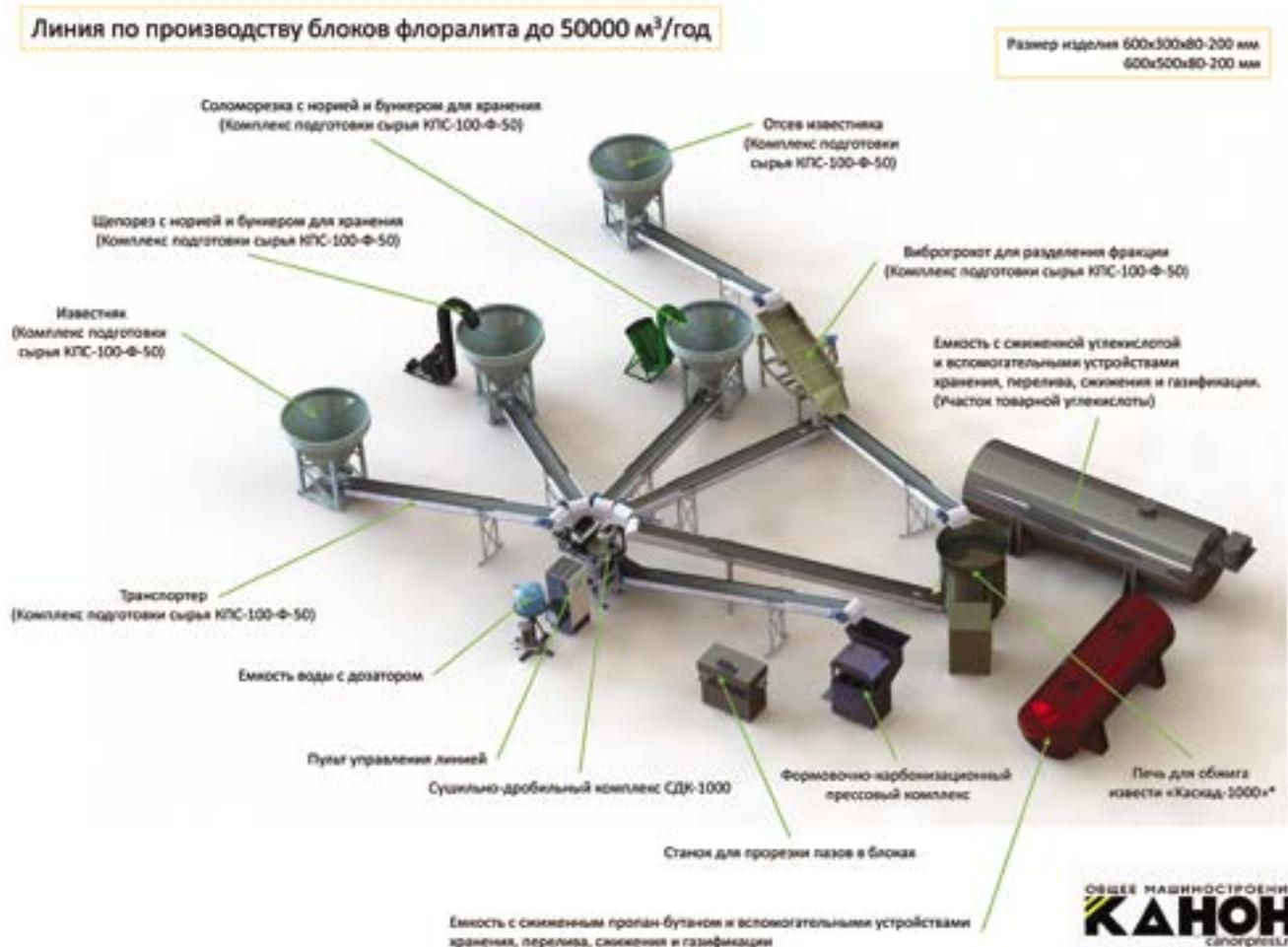


Рис. 10. Автоматизированная линия для производства нового конструктивно-теплоизоляционного строительного материала флоралит

Автоматизированная линия для производства флоралитовых блоков производительностью 50 тыс. м³ в год (рис. 10)

Комплектация	
1	Сушильно-дробильный комплекс СДК-1000
2	Печь для обжига извести «Каскад-1000»*
3	Участок товарной углекислоты
4	Комплекс подготовки сырья КПС-100-Ф-50
5	Формовочно-карбонизационный прессовый комплекс
6	Комплект пресс-форм для выпуска блоков
7	Станок для прорезки пазов в блоках

* Печь для обжига известняка «Каскад-1000» производит известь мягкого обжига и чистый CO₂, необходимый для процесса ускоренной карбонизации (набора прочности) изделия. Производительность печи 1 т/ч извести и 750 кг/ч CO₂ (50% производимого CO₂ уходит на карбонизацию изделий, оставшийся CO₂ пригоден к продаже в качестве дополнительной товарной продукции); тип топлива – газ; расход топлива – 120–160 кг усл. топлива на 1 т извести и 750 кг CO₂.

Занимаемая площадь до 1000 м²
 Расчетные затраты энергии на обжиг извести 35 ед. т/м³
 Расчетные затраты электроэнергии 80 кВт·ч/м³
 Расчетный срок эксплуатации 10 лет
 Гарантийный срок 1 год

Реальные предложения ООО «Канон» на поставку оборудования и модернизацию существующего производства формируются исходя из конкретных потребностей и возможностей заказчиков в процессе активного взаимодействия с ними.

Некоторые варианты комплектации предусматривают модернизацию существующих производств силикатного кирпича с минимальными затратами средств и времени.

Технические решения, положенные в основу новых разработок, касающихся как технологий, так и оборудования, защищены патентами на изобретения, что подтверждает их мировую новизну и обеспечивает конкурентные преимущества на рынке новых технологий и оборудования.

ООО «Канон» несет ответственность не только за поставляемое оборудование, но и за технологию, ее внедрение вплоть до вывода производства на проектную мощность.

А.Ю. Левестам,
 директор ООО «Канон»



ОБЩЕЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ
КАНОН
canonpress.ru

Современные технологии производства строительных материалов в России

Мы создаём будущее вашего бизнеса.

Производство и экология без противоречий.

Карбонатное твердение – новый виток развития.

Скоростные технологии обжига – перспектива отрасли.



Особо компактная печь для обжига мелкодисперсной извести "Вулкан"



Печь для получения извести и двуокиси углерода "Каскад"



Четырёхсторонний формовочно-карбонизационный пресс



Широкоуниверсальный гидравлический револьверный пресс "Патриот"

298637, Республика Крым, г. Ялта, Дарсановский переулок 17
+7 985 740-73-25 | agregat.seo@gmail.com



УДК 691.316

Г.В. КУЗНЕЦОВА, инженер (kuznetzova.gal@yandex.ru),
Д.А. БАБУШКИНА, студентка, Г.Х. ГАЙНУТДИНОВА, студентка

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

Комплексное известково-кремнеземистое вяжущее для увеличения сырцової прочности силикатного кирпича

Рассмотрены различия в комплектации заводов силикатного кирпича, построенные в 70-х гг. на территории бывшего СССР. Современное расширение номенклатуры прессованных изделий требует повышения их сырцової прочности. Достигнуть этого можно тремя способами: увеличением расхода извести, подшихтовкой песков и использованием композиционного известково-кремнеземистого вяжущего. Рассмотрены возможности оптимизации сырцової прочности за счет корректировки составов известково-кремнеземистого вяжущего. Приводятся исследования частичной замены в оптимальном составе известково-кремнеземистого вяжущего И:П=1:1 песка на известняк и суглинок с содержанием глинистых 50%. Косвенным методом определено предельное напряжение сдвига известняка, суглинка и молотого песка отдельно и в составе вяжущего и их влияние на сырцовую и автоклавную прочность. Установлено, что увеличение сырцової прочности на 43% происходит при замене 50% песка на суглинок, а замена 50% песка известняком увеличивает сырцовую прочность в 2,3 раза.

Ключевые слова: силикатный кирпич, известняк, суглинок, известково-кремнеземистое вяжущее, кирпич-сырец.

Для цитирования: Кузнецова Г.В., Бабушкина Д.А., Гайнутдинова Г.Х. Комплексное известково-кремнеземистое вяжущее для увеличения сырцової прочности силикатного кирпича // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 19–22.

G.V. KUZNETSOVA, Engineer (kuznetzova.gal@yandex.ru), D.A. BABUSHKINA, Student, G.Kh. GAYNUTDINOVA, Student
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, 420043, Kazan, Russian Federation)

A Complex Lime-Siliceous Binder for Improving Raw Strength of Silicate Brick

Differences in the equipment of silicate brick factories built in 70s on the territory of the former USSR are considered. The present extension of the range of extruded products requires increasing their raw strength. There are three methods to reach this: increasing the lime consumption, additional charging of sands, and the use of a composite lime-siliceous binder. Possibilities to optimize the raw strength due to the correction of compositions of the lime-siliceous binder are considered. Research in the partial replacement of the sand for lime stone and loam with a clay content of 50% in the optimal composition of the lime-siliceous binder, I:P=1:1, is presented. The ultimate shear stress of lime stone, loam, and crushed sand has been determined separately and in the binder composition by the indirect method; their impact on raw and autoclaved strength has been also determined. It is established that the increase in the raw strength by 43% takes place when 50% of sand is replaced by loam, the replacement of 50% of sand with lime stone increase the raw strength by 2.3 times.

Keywords: silicate brick, lime stone, loam, lime-siliceous binder, adobe brick.

For citation: Kuznetsova G.V., Babushkina D.A., Gaynutdinova G.Kh. A complex lime-siliceous binder for improving raw strength of silicate brick. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 19–22. (In Russian).

Как известно, появление патента на способ производства силикатного кирпича в 1880 г. дало начало строительству заводов в России. В 1890 г. их мощность составила 17 млн шт. и достигшей в последующем 200 млн шт. в год. В 70-е гг. XX в. в СССР было построено 20 заводов силикатного кирпича, оснащенных оборудованим из Польской Народной Республики. Мощность заводов составляла 100 млн шт. кирпича, из них 13 заводов располагались в РСФСР и оборудовано было гидравлическими прессами с челночным движением стола фирмы Атлас [1].

Поставляемые импортные заводы предусматривали только помольные отделения извести, как, например, на заводе в п. Кабаково Республики Башкортостан, для покупной извести 2-го –3-го сорта; в отдельных случаях строились шахтные печи (п. Чур, Республика Удмуртия).

За последнее десятилетие в РФ из-за сокращения строительства многоэтажных домов с несущими стенами, спрос на кирпич высоких марок и пустотелый кирпич существенно сократился. Развитие производства неармированных блоков из газобетона уменьшило спрос на полнотелый кирпич, а строительство коттеджей, каркасное домостроение резко увеличили спрос на облицовочный цветной и декоративный кирпич. Постепенно отечественное производство силикатных изделий расширяется за счет внедрения прессованных блоков среднего и крупного формата. Разработаны нормативные документы, такие как «Альбом технических решений на применение силикатных изделий по ГОСТ 379–2015» и СП 15.13330.

Изменение номенклатуры потребовало от производителей увеличения сырцової прочности в 1,5–2 раза в зависимости от вида прессуемых изделий. Один из вариантов увеличения сырцової прочности – это увеличение расхода извести, что неизменно ведет к удорожанию продукции. Вторым способом является шихтовка песков, а третьим – использование композиционного известково-кремнеземистого вяжущего.

Немецкие производители силикатного кирпича используют бездобавочную известь, речной песок и укрупняющие добавки (отходы промышленности или смесь песков разной крупности), но и при этом расход извести составляет 9–10%.

Российские заводы силикатных стеновых материалов используют в качестве сырья как пески, так и гравелистые пески и гравийно-песчаные смеси. При проектировании предприятия располагали вблизи с карьерами песка. В настоящее время разработка ведется одним или двумя экскаваторами без учета крупности [2].

Природный фракционированный песок стоит намного дороже, чем карьерный или намывной. За рубежом производителей стимулируют к использованию отходов производств путем предоставления налоговых льгот, но в РФ пока этого не наблюдается. Вопрос шихтовки песков остается открытым и решается исключительно энтузиазмом производителя.

Заводы, располагающие собственным производством извести в шахтных печах, всегда имеют отходы карбонатных пород. Как правило, это фракция 0–20 мм с содержанием глинистых примесей до 8%. Этот мелкий

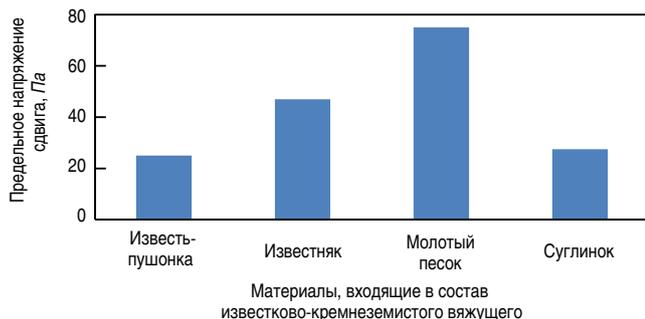


Рис. 1. Пределное напряжение сдвига материалов компонентов и добавок известково-кремнеземистого вяжущего

известняк не может быть просто добавлен в песок, из-за ограничений по крупности включений не более 5–10 мм и сложности дробления при высокой влажности на роторных дробилках, так как это приводит к замазыванию агрегатов. Эти отходы успешно могут быть использованы как добавка в состав известково-кремнеземистого вяжущего. Суглинки являются отходами карьеров гравелистых песков и также могут быть использованы как добавка в состав известково-кремнеземистого вяжущего для заводов с польским оборудованием, где наличием только помольного отделения.

Объектами исследований выбраны добавки: кварцевый песок $M_{кр}=1,6$; суглинок с содержанием глинистых 50% и сырьевые смеси песка с негашеной известью, которые являются основой известково-кремнеземистых вяжущих. В качестве помольного агрегата был использован дисковый истиратель ИД-175, позволяющий регулировать тонкость измельчения.

Целью данного исследования являлась оценка влияния добавок при частичной замене кварцевого песка известково-кремнеземистого вяжущего в составе И:К=1:1. Эта работа направлена на возможность перехода от традиционных сырьевых составов известково-кремнеземистого вяжущего к композиционному вяжущему на основе дисперсно-зернового сырья [3] с целью увеличения сырьевой прочности силикатных изделий.

В работе были исследованы свойства материалов, входящих в известково-кремнеземистое вяжущее, составы полученных вяжущих и их влияние на сырьевую и автоклавную прочность. Формовочные смеси готовились из расчета 25% вяжущего и 75% песка.

Прочность сырья обусловлена действием капиллярных сил, механическим сцеплением зерен и молекулярным сцеплением. Действие сил распределяется следующим образом: 81–82% – капиллярных; 14–15% – механических; 3–4% – молекулярных. Пленки связанной воды не могут играть роль клея, так как основные свойства их обусловлены влиянием силовых полей частиц твердых тел. Это могут быть вещества типа коллоидных клеев, частицы которых размером менее 0,1 мкм способны создавать мостики, соединяющие различные твердые тела [4].

Установлено, что оптимальное соотношение вяжущего совместного помола для извести и песка составля-

Влияние материала минералогических составляющих известково-кремнеземистого вяжущего на размоловоспособность

	Удельная поверхность продукта помола в ружинной мельнице при продолжительности помола, с				
	5	10	20	30	40
Известняк	2870	3150	3704	4479	5170
Кварцевый песок	230	470	870	1400	1690

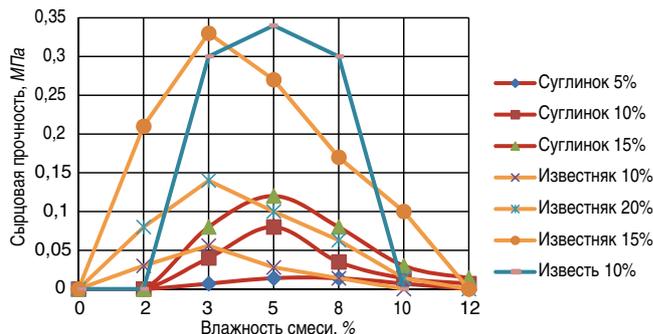


Рис. 2. Влияние влажности смеси и количества известняка и суглинка на сырьевую прочность прессованного образца

ет И:П=1:1. По данным исследований автоклавной прочности [5], песок может быть полностью заменен на суглинки в составе смеси. Глина при содержании 5–10 мас. % после гидротермальной обработки полностью вступает в реакцию [6]. Вещественный состав глинистых пород и наличие термодинамически неустойчивых соединений позволяют получить эффективные строительные композиты [7]. Также установлено, что минеральные добавки, вводимые в состав вяжущего, оказывают влияние на свойства самого вяжущего и формовочной смеси [8]. Способность к размолу у известняка в три раза лучше, чем у песка. Известняк имеет сравнительно невысокую пустотность частиц и соответственно низкую сорбционную влагоемкость [9].

При прессовании, а именно при наличии внешнего давления зерна песка частично перемещаются относительно друг друга до тех пор, пока удельное давление на контактные площадки между ними не станет равным пределу прочности материала. С использованием косвенного метода и равноподвижных смесей, было определено пределное напряжение сдвига составляющих компонентов вяжущего. Статическое пределное напряжение сдвига характеризует переход системы из состояния покоя в состояние медленного перемещения одного слоя относительно другого (ползучесть) без заметного разрушения структуры. Результаты представлены на рис. 1.

На основании полученных результатов известь и суглинок характеризуются меньшей величиной пределного напряжения сдвига и требуют меньшей нагрузки при прессовании для начала перемещения. Известь и суглинок в составе смеси облегчают прессование смеси, обеспечивая скольжение слоев.

На намывном песке с содержанием глинистых 0,2% были приготовлены смеси с известью $A_{и}=80\%$ в количестве 10% по CaO и смеси с суглинком с содержанием 5, 10 и 15%, известняка 10, 15, 20% и влажностью смеси 2, 3, 5, 8, 10 и 12%. Спрессованы образцы-цилиндры с усилием прессования 20 МПа и определена сырьевая прочность. Результаты представлены на рис. 2.

Из полученных результатов видно, что известняки и суглинки участвуют в создании сырьевой прочности наравне с известью. Добавка суглинка сдвигает формовочную влажность в большую сторону, известняк – в меньшую.

Предварительно исследована размоловоспособность известняка в сравнении с кварцевым песком. Результаты приведены в таблице.

Полученные результаты подтверждают способность к размолу у известняка в три раза лучше, чем у песка. Суглинки, как правило влажные, при совместном помоле подсушиваются известью.

Из известково-кремнеземистого вяжущего удельной поверхностью 3000 $см^2/г$ заводского производства был выделен молотый песок (удельная поверхность 1000 $см^2/г$), дисперсный состав показан на рис. 3.

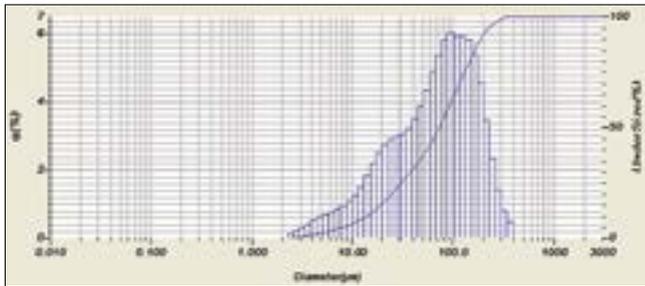


Рис. 3. Дисперсный состав молотого песка известково-кремнеземистого вяжущего с удельной поверхностью 1000 см²/г

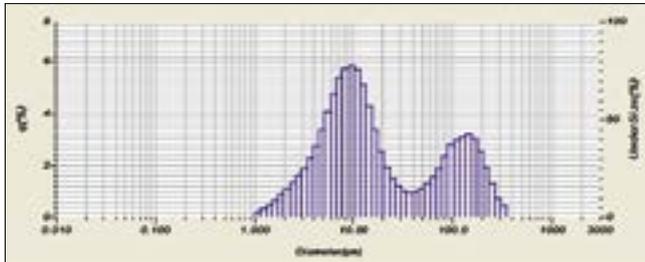


Рис. 4. Дисперсный состав молотого известняка

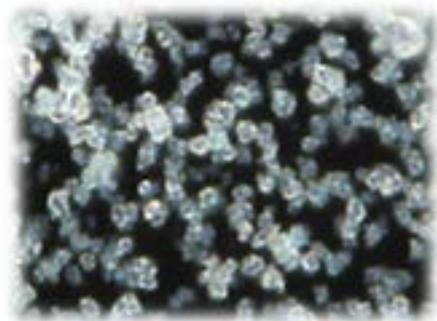


Рис. 5. Известково-кремнеземистое вяжущее состава И:П=1:1(50:50)

Дисперсный состав представлен зернами: размером менее 5 мкм – 4,2%; размером более 5 мкм – 95,8%.

Дисперсный состав молотого известняка исследован на приборе Хороба (рис. 4), представлен зернами менее 5 мкм (16,6%) и зернами более 5 мкм (93,4%).

Исследование раствора вяжущего состава И:П=1:1 с увеличением $\times 100$ раз показывает (рис. 5), что молотый песок представлен отдельными блоками [10], и это явно будет затруднять движение слоев при прессовании.

Приготовлены составы композиционных известково-кремнеземистых вяжущих с добавкой известняка, суглинка и определено предельное напряжение сдвига. Результаты представлены на рис. 6.

Оптимальный состав вяжущего И:П=1:1, или состав 50%+50% является жестким и требует большей нагрузки при прессовании для начала перемещения по сравнению с другими составами. Полученные результаты подтверждают, что композиционные составы вяжущего имеют лучшие свойства формовости, так как имеют меньшее значение предельного напряжения сдвига.

На основе оптимального состава вяжущего И:П=1:1 путем частичной замены песка в количестве 10, 15, 20, 25 и 30% на суглинок и известняк приготовлены составы композиционных вяжущих, формовочных смесей на их основе и определены сырьевая и автоклавная прочности и проведено сравнение их изменений. Результаты представлены на рис. 7.

Как показали результаты, композиционные вяжущие позволяют увеличить сырьевую прочность. Замена 50% песка в составе известково-кремнеземистого вяжущего на суглинок с содержанием глинистых 50% увели-

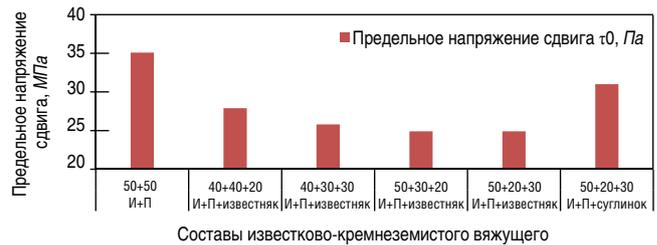


Рис. 6. Предельное напряжение сдвига композиционных известково-кремнеземистых вяжущих

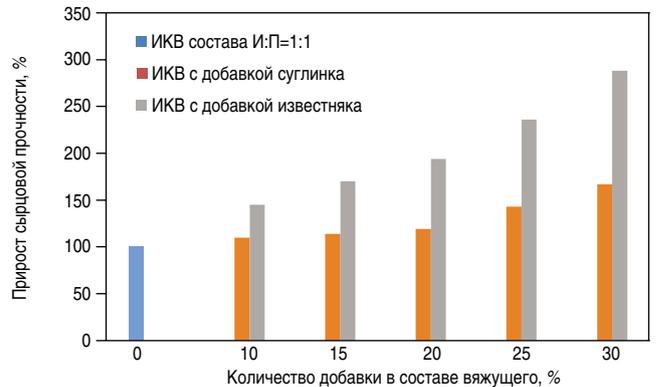


Рис. 7. Влияние состава композиционного известково-кремнеземистого вяжущего на сырьевую прочность

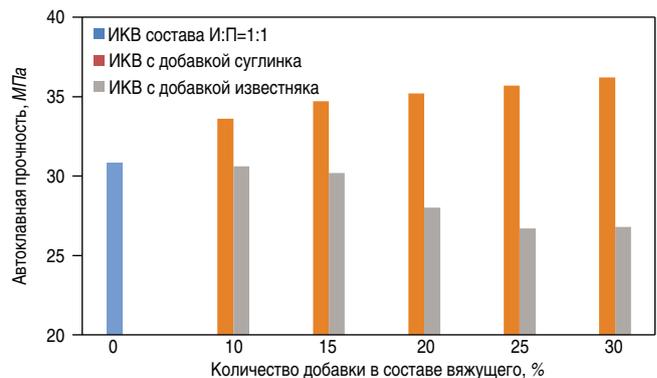


Рис. 8. Влияние состава композиционного известково-кремнеземистого вяжущего на автоклавную прочность

чивает сырьевую прочность на 43%, а замена на известняк – в 2,3 раза. Результаты по испытаниям автоклавной прочности представлены на рис. 8.

Известняки дают снижение автоклавной прочности, но обеспечивают марку 150–200. Пересчет количества глинистых на всю смесь показал, что добавка суглинка 25% в вяжущее равнозначна 3,6% содержания глинистых в песке. Глинистые в составе вяжущего равномерно распределяются по всему объему и участвуют в сырьевой прочности. Глинистые, приходящие с песком, при смешивании с негашеной известью имеют свойство скручиваться в комки и требуют дополнительной обработки смеси, например в стержневых смесителях. Проблемы использования гравелистых глинистых темных песков в производстве цветного кирпича в данном случае не рассматриваются.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы: предложенные составы композиционных известково-кремнеземистых вяжущих с использованием собственных отходов повышают сырьевую прочность. Композиционные составы вяжущего с использованием суглинков могут быть использованы на заводах, построенных по польскому проекту, и для производства пустотелых и большеформатных изделий.



Список литературы

1. Хвостёнков С.И. Развитие производства силикатного кирпича в России // *Строительные материалы*. 2007. № 10. С. 4–10.
2. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Влияние корректирующей добавки на свойства известково-кремнеземистого вяжущего // *Строительные материалы*. 2013. № 12. С. 12–14.
3. Шмитько Е.И., Верлина Н.А. Процессы прессформования и их влияние на качество кирпича-сырца // *Строительные материалы*. 2015. № 10. С. 5–8.
4. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. М.: Эколит, 2011. 384 с.
5. Вахнин М.П., Анищенко А.А. Производство силикатного кирпича. М.: Высшая школа, 1983. 191 с.
6. Володченко А.Н. Влияние глинистых минералов на свойства автоклавных силикатных материалов // *Инновации в науке: Материалы XXI международной заочной научно-практической конференции*. Новосибирск: СибАК, 2013. С. 23–28.
7. Володченко А.Н. Использование нетрадиционного глинистого сырья для получения силикатных материалов по энергосберегающей технологии // *Успехи современного естествознания*. 2015. № 1. Ч. 4. С. 644–647.
8. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Влияние компонентов известково-кремнеземистого вяжущего на связность известковой массы для прессования // *Строительные материалы*. 2012. № 12. С. 69–72.
9. Хохряков О.В., Бахтин М.А. О зависимости водопотребности портландцемента и наполнителей от их удельной поверхности и содержания суперпластификатора // *Материалы за 7-а международна научна практична конференция «Динамика и съвременната наука»*. Т. 9. Република България. 2011. С. 56–60.
10. Тихомирова И.Н., Макаров А.В. Механоактивация известково-кварцевых вяжущих // *Строительные материалы*. 2012. № 9. С. 4–7.

References

1. Khvostenkov S.I. Development of production of a silicate brick in Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 10, pp. 4–10. (In Russian).
2. Kuznetsova G.V., Morozova N.N. Influence of a Corrective Additive on Properties of a Lime-Siliceous Binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 12, pp. 12–14. (In Russian).
3. Shmit'ko E.I., Verlina N.A. Press-Molding Processes and Their Influence on Adobe Brick Quality. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 10, pp. 5–8. (In Russian).
4. Khavkin L.M. Tekhnologiya silikatnogo kirpicha [Technology of a silicate brick]. Moscow: Ekolit. 2011. 384 p.
5. Vakhnin M.P., Anishchenko A.A. Proizvodstvo silikatnogo kirpicha [Production of a silicate brick]. Moscow: Vysshaya shkola. 1983. 191 p.
6. Volodchenko A.N. Influence of clay minerals on properties of autoclave silicate materials. *Innovations in science: Papers XXI of the international correspondence scientific and practical conference*. Novosibirsk: SibAK. 2013, pp. 23–28. (In Russian).
7. Volodchenko A.N. Use of nonconventional clay raw materials for receiving silicate materials on energy saving technology. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2015. No. 1. Vol. 4, pp. 644–647. (In Russian).
8. Kuznetsova G.V., Morozova N.N. Influence of Components of a Lime-Siliceous Binder on Cohesion of Molding Material for Pressing. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 12, pp. 69–72. (In Russian).
9. Khokhryakov O.V., Bakhtin M.A. About dependence of water requirement of the portland cement and excipients on their specific surface area and content of supersoftener. *Материалы за 7-а международна научна практична конференция «Динамика и съвременната наука»*. Vol. 9. Respublika B'lgariya, 2011, pp. 56–60.
10. Tikhomirova I.N., Makarov A.V. Mechanical Activation of Lime-Quartz Binders. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 9, pp. 4–7. (In Russian).



ИЗНОСОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ

ДЕЛАНО НА УРАЛЕ!

Ремонтно-механический завод «НИХАРД-СЕРВИС» производит:

- била, молотки, щёки и футеровки дробилок,
- футеровки течек и рудоспусков,
- лопасти, брони и спицы бетономесителей;
- шнеки экструдеров и глиномесителей,
- детали, работающие в условиях абразивного износа,
- корпуса и крыльчатки шламовых насосов;
- бронифутеровки шаровых и стержневых мельниц;
- трубопроводы пневмотранспорта;
- лопасти шламовых бассейнов;
- решётчатые плиты.

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

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

Реклама



ООО РМО «Нихард-сервис»
436209, Челябинская область,
г. Златоуст, ул. Им. А. Н. Радищева, 3

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

E-mail:
nihard-servis@mail.ru



Статистический анализ качества автоклавного газобетона в задачах повышения эффективности его производства

Представлены результаты комплексного статистического анализа качества газобетона, осуществленного за годичный период работы предприятия, оснащенного новым зарубежным технологическим оборудованием. В качестве объекта статистического анализа использован автоклавный газобетон марки по средней плотности D500, класса по прочности B2,5, так как изделия из бетона данной марки являются наиболее массовой продукцией, пользующейся основным спросом у потребителя. Выявлено, что изменчивость показателей свойств определяет необходимость обеспечивать избыточный запас качества продукции, в первую очередь по прочности. Количественно оценена степень корреляционной взаимосвязи ключевых параметров технологии и основных свойств газобетона. Статистически достоверно выявлена взаимосвязь между мерой изменчивости параметров технологического процесса и запасом качества продукции, вероятностью появления брака. Предложены направления повышения эффективности производства за счет использования имеющегося запаса качества продукции, а также путем рационализации параметров технологии как средства снижения производственных затрат.

Ключевые слова: автоклавный газобетон, статистический анализ, качество, брак продукции, эффективность производства.

Для цитирования: Славчева Г.С. Статистический анализ качества автоклавного газобетона в задачах повышения эффективности его производства // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 23–27.

G.S. SLAVCHEVA, Doctor of Sciences (Engineering), (gslavcheva@yandex.ru)
Voronezh State Technical University (84, 20-letiya Oktyabrya Street, 394006, Voronezh, Russian Federation)

Statistical Analysis of Quality of Autoclaved Gas Concrete in Tasks of Improving the Efficiency of Its Production

Results of the complex statistical analysis of the quality of gas concrete made for a year period of operation of the enterprise equipped with new foreign technological equipment are presented. Autoclaved gas concrete of average density D500 and strength grade B2.5 was used as an object of the statistical analysis, because concrete products of this brand are the most mass product which is the main demand of the consumer. It is revealed that the variability of properties identifies the need to ensure the excess reserve of production quality, for strength primarily. The degree of correlation interconnection of the key parameters in technology and basic properties of the gas concrete has been evaluated qualitatively. The interconnection between the degree of variability of parameters of the technological process and excess quality of production, the probability of spoilage appearance are revealed statistically reliably. The ways of improving the production efficiency due to the use of the available reserve of products quality as well as by rationalization of technological parameters as a means of reducing production expenditures are proposed.

Keywords: autoclaved gas concrete, statistical analysis, quality, spoilage of products, production efficiency.

For citation: Slavcheva G.S. Statistical analysis of quality of autoclaved gas concrete in tasks of improving the efficiency of its production. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 23–27. (In Russian).

В последние десятилетия промышленность строительных материалов и изделий переживает новый подъем производства, в первую очередь за счет модернизации старых и ввода в эксплуатацию новых заводов по производству изделий из автоклавных ячеистых бетонов. Реновация производства обеспечила новый уровень качества по геометрии изделий, по соотношению прочность–плотность материала и по его физико-климатической стойкости. Это и определило высокую конкурентоспособность, безусловное лидерство автоклавных газобетонов (АГБ) на рынке стеновых материалов. По данным Национальной ассоциации производителей автоклавного газобетона, за последние 15 лет его выпуск увеличился в 6,5 раз, а его доля среди стеновых материалов, выпускаемых в России, выросла с 6 до 30%. В Воронежской области, например, 15% от общей площади жилья возводится с применением АГБ в ограждающих конструкциях [1]. Даже несмотря на произошедший в 2015–2016 гг. общий спад объемов строительства, снижение объемов производства АГБ оказалось в 1,5 раза менее значительным, чем производство других мелкоштучных стеновых материалов [2].

Означает ли это, что при таких достижениях современные технологии производства автоклавных газобетонов обеспечивают оптимальное соотношение между производственными затратами и уровнем качества продукции? Наш опыт взаимодействия с предприятиями показывает, что по-прежнему остается ряд нерешенных проблем и перспективы для развития. Соответственно

имеются и резервы для совершенствования параметров технологии, снижения производственных затрат и повышения эффективности производства. Для выявления таких резервов коллективом специалистов Воронежского государственного технического университета под руководством академика Е.М. Чернышова на предприятиях по производству автоклавных газобетонов в Воронежской области проводится работа по комплексному статистическому анализу стабильности параметров технологического процесса и качества продукции. Результаты такой работы в отношении одного из предприятий-лидеров производства обсуждаются в данной публикации.

Обоснование параметров технологии как объектов статистического анализа

На первом этапе работы была произведена предварительная статистическая оценка качества газобетона по данным результатов контроля за годичный период работы предприятия. Результаты оценки показывают (табл. 1), что продукция предприятия по соотношению плотность–прочность характеризуется высоким коэффициентом конструктивного качества, по всей номенклатуре свойств соответствует верхней границе требований ГОСТ 31359–2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия». Оценка запаса качества газобетона по прочности, произведенная согласно методике ГОСТ Р 50779.53–98 «Статистические методы. Приемочный контроль качества по количественно-

Таблица 1

Показатель качества	Значение показателя		
	D400	D500	D600
Марка по средней плотности	D400	D500	D600
Класс по прочности при сжатии	B1,5	B2,5	B3,5
Средняя прочность, МПа	2,7	4,2	5,4
Коэффициент изменчивости по прочности, %	8,4	7,7	8,2
Запас качества по прочности (по ГОСТ Р 50779.53–98)	4,8	4,5	3,7
Коэффициент конструктивного качества, $R/\rho \cdot 10^{-2}$	0,65	0,81	1,09
Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	0,23	0,21	0,16
Теплопроводность, Вт/(м·°C)	0,08	0,1	0,12
Усадка при высыхании, мм/м	–	0,24	0,22

му признаку для нормального закона распределения. Часть 1. Стандартное отклонение известно», позволила установить, что все производимые марки имеют многократный запас качества. При этом прочностные характеристики характеризуются довольно большой межпартионной изменчивостью, что и предопределяет необходимость столь высокого запаса качества по прочности для гарантии обеспечения нормативных требований к классу бетона во всех партиях.

На втором этапе работы было произведено обоснование количественных индикаторов технологического процесса как объектов статистического анализа. Анализировались стадия выбора исходного состава сырьевой шихты и подготовки ее компонентов, а также стадия приготовления формовочной смеси и формования.

Параметры процесса на стадии выбора состава смеси и подготовки сырьевых материалов, являясь ключевыми факторами формирования заданной структуры материала, подвержены наибольшей изменчивости. К данным параметрам относятся [3–6]:

- соотношение щелочного и кремнеземистого компонента в известково-песчаной смеси;
- удельная поверхность кремнеземистого компонента (КК);
- характеристики формовочной смеси.

Соотношение извести и песка определяет основную смесь по отношению CaO/SiO_2 и соотношение по массе исходных компонентов, которые имеют суммарный объем частиц, размещающихся в их смеси, и дают определенную конгломератную структуру после синтезного твердения. Применяемое С/С должно обеспечивать омоноличивание частиц кремнеземистого компонента и получение конгломератной структуры межпоровых перегородок с заданной прочностью. При

этом оптимизация соотношения С/С производится с учетом решения двух задач:

1) задачи получения гидросиликатов кальция (ГСК) в количестве, необходимом для склеивания зернистых частиц по критерию максимума прочности бетона – $\max(R_6)$;

2) задачи получения ГСК такого состава, который способствует обеспечению и прочности и других требуемых свойств материала – влажностной усадки, морозостойкости, трещиностойкости и др.

Исходный состав с принятым С/С должен способствовать получению оптимальной цементации, ко-

торая и будет отвечать критерию $\max(R_6)$. Поэтому С/С будет зависеть, с одной стороны, от удельной поверхности КК, при изменении которой меняется межзерновой объем, который должен быть заполнен ГСК. С другой стороны, для каждой удельной поверхности КК с его поверхностью, физико-химической активностью соответствует свой оптимум массовой доли СаО, зависящий от активности извести.

Характеристики формовочной смеси по содержанию двуводного гипса и реологическим характеристикам являются инструментами регулирования и синхронизации развития процессов газовыделения, поризации и схватывания [7]. Использование гипсового камня как полифункциональной добавки в технологии производства автоклавных ячеистых бетонов по литевой технологии обеспечивает повышенную седиментационную устойчивость смеси на стадии формирования макроструктуры газобетона, а также замедление скорости гашения извести. Одновременно на этапе гидротермального синтеза добавка гипса является средством регулирования состава новообразований цементующего вещества, способствуя ускорению связывания СаО, что приводит к увеличению количества низкоосновных новообразований (CSH(V), тоберморита), а также к формированию армирующих кристаллов этtringита.

В результате для статистического анализа стабильности технологического процесса были выбраны следующие количественные индикаторы перечисленных выше ключевых параметров технологии:

- активность извести $A_{и}$;
- удельная поверхность кремнеземистого компонента;
- консистенция формовочной смеси (диаметр расплава смеси по Суттарду);
- содержание SO_3 в смеси.

Таблица 2

Контролируемый параметр	Ед. изм.	Границы регулирования		Статистические оценки контролируемого параметра			Индекс C_p
		T_{min}	T_{max}	Среднее значение \bar{X}	Стандартное отклонение, s	Коэф. изм., %	
Активность извести	%	75	80	80,6	2,37	2,94	0,38
Содержание SO_3 в шламе	%	1,80	3,4	2,76	0,61	21,11	0,17
$S_{уд}$ песка в шламе	см ² /г	2450	2550	2490	7,72	3,1	0,23
Диаметр расплава смеси (по Суттарду)	см	26	36	29,6	1,84	6,21	0,91
Прочность	МПа	2,76 (для В2,5)	–	4,2	0,32	7,71	1,51
		3,84 (для В3,5)					
Средняя плотность	кг/м ³	–	534	496	9,68	1,95	1,81
Влажность, %	%	Не нормируется	32,7	2,07	7,28	–	

Таблица 3

Свойства газобетона	Величина коэффициента корреляции r_{xy}			
	Активность извести	Консистенция смеси	Содержание SO_3 в шламе	$S_{уд}$ песка в шламе
Прочность	-0,36	-0,15	-0,21	-0,69
Средняя плотность	-0,81	-0,52	-0,42	-0,7

Результаты статистического анализа

Статистический анализ параметров технологического процесса и показателей качества продукции произведен за годичный период работы предприятия. В качестве объекта статистического анализа был выбран автоклавный газобетон марки по средней плотности D500, класса по прочности В2,5, так как изделия из бетона данной марки являются наиболее массовой продукцией предприятия, пользующейся главным спросом у потребителя.

На первой стадии анализа произведен расчет статистических характеристик для выделенных индикаторов технологического процесса, а также для основных показателей качества АГБ – средней плотности, прочности и влажности. Стабильность параметров процесса и показателей свойств оценивалась по показателю воспроизводимости C_p [8], вычисляемого по формулам:

– при наличии верхней и нижней границ регулирования:

$$C_p = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{6s}; \quad (1)$$

– при наличии верхней границы регулирования:

$$C_p = \frac{T_{\max} - \bar{X}}{3s}; \quad (2)$$

– при наличии нижней границы регулирования:

$$C_p = \frac{\bar{X} - T_{\min}}{3s}; \quad (3)$$

где T_{\max} и T_{\min} – верхняя и нижняя границы регулирования; \bar{X} – среднее значение контролируемого параметра; s – стандартное отклонение контролируемого параметра.

Изменчивость свойств продукции и параметров процесса считается удовлетворительной, если индекс воспроизводимости находится в границах $1,00 \leq C_p \leq 1,67$ [9, 10]. В этом случае ширина интервала между границами регулирования в 6–8 раз превышает стандартное отклонение s , т. е. соответствует классическому интервалу статистической изменчивости.

Границы регулирования для значений прочности и плотности установлены в соответствии с требованиями ГОСТ 18105–2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности», ГОСТ 27005–2014 «Бетоны легкие и ячеистые. Правила контроля средней плотности». Границы регулирования для значений активности извести, удельной поверхности кремнеземистого компонента, консистенции формовочной смеси, содержания SO_3 в шламе соответствуют требованиям действующего технологического регламента предприятия.

Сопоставление с нормируемыми значениями статистических оценок контролируемых параметров технологического процесса и качества автоклавного газобетона за годичный период работы предприятия представлено в табл. 2.

В целом по данным статистического анализа можно заключить, что показатели качества продукции предприятия отличаются стабильностью. Индекс воспроизводимости для плотности и прочности газобетона находится в приемлемом диапазоне $1,5 < C_p < 1,8$.

Средняя плотность бетона изменяется в диапазоне 465–535 $кг/м^3$ (рис. 1), что соответствует требованиям

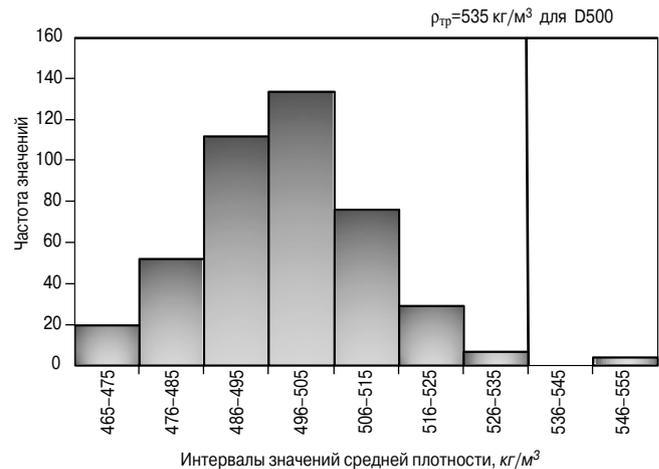


Рис. 1. Гистограмма распределения значений плотности в партиях газобетона за годичный период

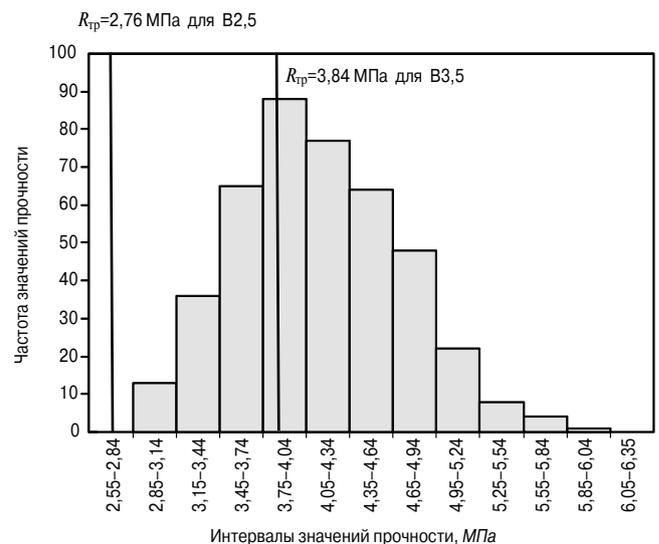


Рис. 2. Гистограмма распределения значений прочности в партиях газобетона за годичный период

ГОСТ 27005–2014 для обеспечения марки по средней плотности D500. Причем в 75% партий величина средней плотности не превышает 500 $кг/м^3$. Показатели плотности имеют низкий коэффициент изменчивости ($< 2,5\%$) и соответственно характеризуются оптимальным индексом воспроизводимости.

Прочность газобетона варьируется в широком диапазоне 2,55–6,65 МПа (рис. 2) и характеризуется довольно высоким коэффициентом изменчивости ($\sim 8\%$). Вследствие этого величина средней прочности превышает значения требуемой прочности, которая необходима для обеспечения класса бетона В2,5 по ГОСТ 18105–2010. В 73% произведенных за год партий продукции фактические значения прочности бетона обеспечивают класс В3,5. Однако вследствие высокой изменчивости значений требуемая прочность для обеспечения класса В3,5 в отдельных партиях продукции не может быть гарантирована.

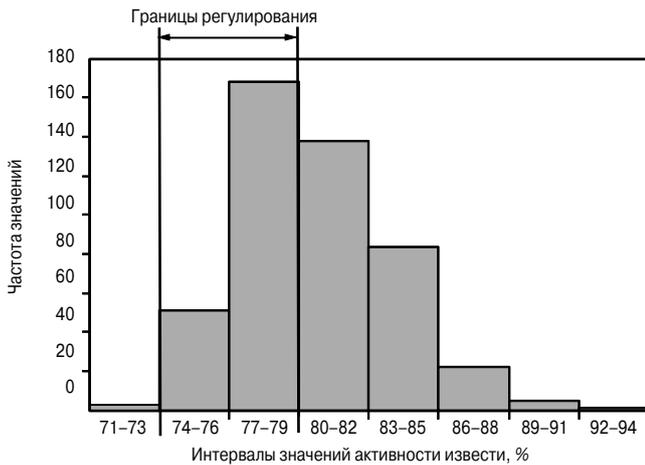


Рис. 3. Гистограмма распределения значений активности в партиях извести за годичный период

Отпускная влажность автоклавного ячеистого бетона в настоящее время не регламентируется требованиями действующих стандартов, однако следует констатировать, что значения влажности в диапазоне 32–35% являются очень высокими и одновременно отличаются сравнительно высокой изменчивостью (~7%).

Анализ стабильности параметров технологического процесса показал, что они характеризуются низким индексом воспроизводимости $C_p < 1$. Для выявления параметров технологического процесса, наиболее значимых для показателей качества газобетона, произведен корреляционный анализ количественной взаимосвязи между ними. По данным корреляционного анализа (табл. 3) установлено:

- значения прочности и плотности газобетона характеризуются сильной корреляционной взаимосвязью с удельной поверхностью кремнеземистого компонента ($r_{xy} = |0,7|$), что закономерно связано со структурообразующей ролью частиц песка в формировании микроструктуры межпоровых перегородок и наноструктуры цементирующего вещества;
- средняя плотность газобетона в значительной мере зависит от активности извести ($r_{xy} = |0,81|$) и в меньшей степени от консистенции формовочной смеси, определяющих параметры процессов газообразования, схватывания и формирования ячеистой структуры газобетона;
- между содержанием SO_3 в смеси и характеристиками качества газобетона статистически достоверной корреляционной взаимосвязи не выявлено.

Следует подчеркнуть, что действующий технологический регламент предприятия предусматривает предельно узкие границы изменчивости параметров технологического процесса, которые в условиях действующего производства не обеспечиваются. Вид гистограмм распределения значений активности извести и удельной поверхности песка за годичный период (рис. 3, 4) позволяет заключить, что изменчивость их значений существенно превышает регламентируемые границы регулирования. Однако статистический анализ показал, что регламентируемые жесткие требования к обеспечению минимальной изменчивости параметров процесса являются обоснованными, так как, например, прочность и индекс ее воспроизводи-

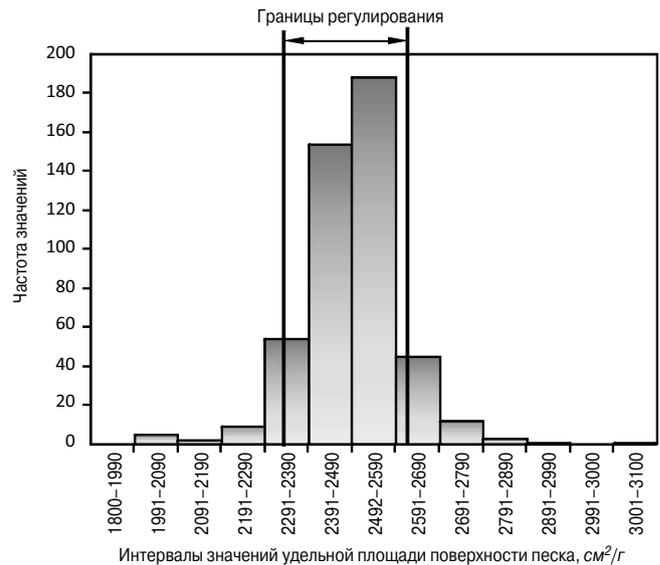


Рис. 4. Гистограмма распределения значений удельной поверхности песка по результатам контроля за годичный период

сти в партиях газобетона имели самые низкие значения (рис. 5) в те месяцы, когда коэффициент изменчивости удельной поверхности песка характеризовался максимальными величинами.

Выводы и рекомендации

Комплексный анализ качества газобетона, осуществленный на примере одного из новых заводов с зарубежным технологическим оборудованием за годичный период его работы, позволяет статистически достоверно утверждать, что современные технологии обеспечивают стабильный выпуск продукции с высоким запасом качества по всем нормируемым характеристикам, и в первую очередь по соотношению плотности и прочности.

По результатам статистического анализа выявлена высокая изменчивость ряда параметров технологии и доказано ее влияние на качество продукции и увеличение вероятности появления брака. По-прежнему качество извести остается как главной, так и неразрешенной проблемой для производителей автоклавного ячеистого бетона. Также не удается в полной мере оптимизировать параметры процесса помола и обеспечить регламентируемую стабильность показателей дисперсности кремнеземистого компонента. Это и предопределяет необхо-

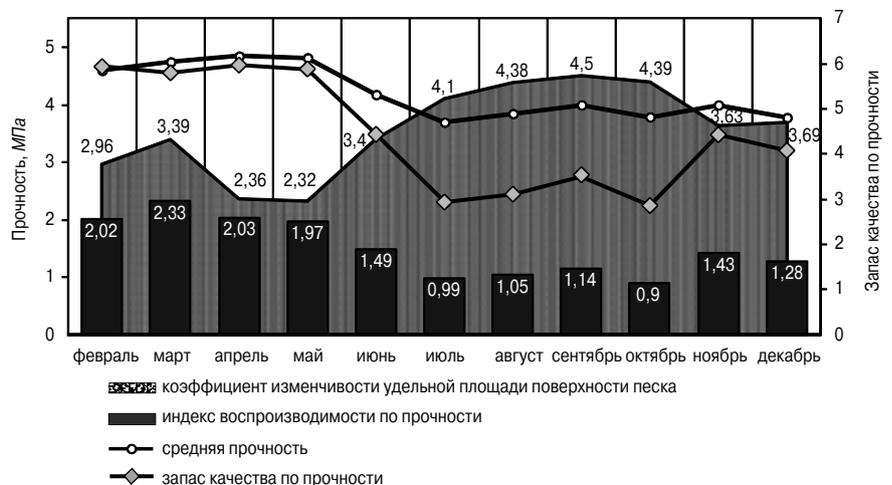


Рис. 5. Сопоставление показателей качества газобетона с изменчивостью параметров процесса

димось иметь избыточный запас качества продукции, в первую очередь по прочности, что не вполне оправданно с точки зрения производственных затрат.

Повышение эффективности производства может быть реализовано за счет двух направлений совершенствования деятельности предприятия:

- использование имеющегося запаса качества продукции для получения дополнительной прибыли;
- рационализация параметров технологии для снижения производственных затрат.

Реализация первого направления не требует вмешательства в технологический процесс, а предусматривает только изменения в организации приемочного контроля партий продукции. На основе использования методики ГОСТ Р 50779.53–98 на этапе приемочного контроля может быть организована классификация партий газобетона по прочностному классу в рамках одной марки по плотности. Это может дать существенную дополнительную прибыль в связи с тем, что раз-

ница в рыночной цене между газобетоном одной и той же марки по плотности, но разных классов достигает 500–700 р./м³.

Реализация второго направления регулирования эффективности производства связывается с обеспечением рациональных условий технологии по критериям оптимизации:

- расход дорогостоящей извести при максимуме прочности получаемого материала;
- длительность изотермической выдержки до достижения максимального значения прочности;
- суммарные энергозатраты (на всех технологических этапах) в расчете на единицу объема материала;
- удельные по отношению к достигнутой максимальной прочности материала суммарные энергозатраты;
- изменчивость параметров процесса и показателей свойств продукции для уменьшения необходимого запаса ее качества.

Список литературы

1. Акулова И.И., Дудина Н.А., Баранов Е.В. Методика и результаты оценки конкурентоспособности теплоизоляционных материалов, применяемых в жилищном строительстве // *Экономика. Теория и практика: Материалы международной научно-практической конференции*. Саратов. 2014. С. 32–37.
2. Вишнеvский А.А., Гринфельд Г.И., Смирнова А.С. Российский рынок автоклавного газобетона. Итоги 2016 года // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 49–51.
3. Попов В.А., Чернышов Е.М. Возможности наномодифицирования структур гидротермально-синтезных систем твердения в задачах управления сопротивлением разрушению автоклавных бетонов // *Механика разрушения бетонов, железобетонов и других строительных материалов: Материалы 7-й международной научной конференции*. Воронеж. 2013. Т. 2. С. 246–251.
4. Чернышов Е.М., Славчева Г.С. Управление эксплуатационной деформируемостью и трещиностойкостью макропористых (ячеистых) бетонов. Ч. 1. Контекст проблемы и вопросы теории // *Строительные материалы*. 2014. № 1–2. С. 105–112.
5. Чернышов Е.М., Неупокоев Ю.А., Потамоснева Н.Д. Высокопоризованные ячеистые бетоны для эффективных теплоизоляционных плит // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2007. № 1. С. 181–190.
6. Шинкевич Е.С., Чернышов Е.М., Луцкий Е.С., Тымняк А.Б. Многокритериальная оптимизация состава и свойств активированных известково-кремнеземистых композитов // *Сухие строительные смеси*. 2013. № 2. С. 33–37.
7. Рудченко Д.Г. О роли гипсового камня в формировании фазового состава новообразований автоклавного ячеистого бетона // *Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка*. 2012. Вып. 43. С. 47–54.
8. Логанина В.И., Учаева Т.В. К вопросу о системе контроля качества на предприятиях стройиндустрии // *Региональная архитектура и строительство*. 2010. № 1. С. 31–33.
9. Логанина В.И., Круглова А.Н. Оценка достоверности контроля качества строительной продукции // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2016. № 9 (693). С. 87–92.
10. Логанина В.И., Вирысова А.В. Оценка потенциала производственного процесса предприятий стройиндустрии // *Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование*. 2016. № 1 (1). С. 44–46.

References

1. Akulova I.I., Dudina N.A., Baranov E.V. Method and results of the assessment of the competitiveness of heat-insulating materials used in housing construction. *Economy. Theory and practice: Materials of the International Scientific-practical Conference*. Saratov. 2014, pp. 32–37. (In Russian).
2. Vishnevskiy A.A., Grinfel'd G.I., Smirnova A.S. The Russian market for autoclaved aerated concrete. Results of 2016. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 3, pp. 49–51. (In Russian).
3. Popov V.A., Chernyshov E.M. Possibilities of nanomodifying the structures of hydrothermal-synthesis hardening systems in control problems of resistance to decomposition of autoclave concretes. *Mechanics of destruction of concrete, reinforced concrete and other building materials: Materials of the 7-th International Scientific Conference*. Voroneg. 2013. Vol. 2, pp. 246–251. (In Russian).
4. Chernyshov E.M., Slavcheva G.S. Control over operational deformability and crack resistance of macro-porous (cellular) concretes: Context of problem and issues of theory. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 1–2, pp. 105–112. (In Russian).
5. Chernyshov E.M., Neupokoev Yu.A., Potamoshneva N.D. Highly porous cellular concrete for effective insulation boards. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*. 2007. No. 1, pp. 181–190. (In Russian).
6. Shinkevich E.S., Chernyshov E.M., Lutskin E.S., Tymnyak A.B. Multicriteria optimization of composition and properties of activated calc-siliceous composites. *Sukhie stroitel'nye smesi*. 2013. No. 2, pp. 33–37. (In Russian).
7. Rudchenko D.G. On the role of gypsum stone in the formation of the phase composition of new formations of autoclaved cellular concrete. *Budivel'ni materialy, virobity ta sanitarna tekhnika*. 2012. No. 43, pp. 47–54. (In Russian).
8. Loganina V.I., Uchaeva T.V. The issue of the quality control system at the construction industry manufacturers. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo*. 2010. No. 1, pp. 31–33. (In Russian).
9. Loganina V.I., Kruglova A.N. Evaluation of the reliability of quality control of construction products. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo*. 2016. No. 9 (693), pp. 87–92. (In Russian).
10. Loganina V.I., Viryasova A.V. Estimation of the potential of the manufacturing process of the construction industry enterprises. *Vestnik PGUAS: stroitel'stvo, nauka i obrazovanie*. 2016. No. 1 (1), pp. 44–46. (In Russian).

И.Н. ТИХОМИРОВА, канд. техн. наук, А.В. МАКАРОВ, канд. техн. наук (Makarov_otc@bk.ru),
М.А. КАРПЕНКО, бакалавр

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева (123480, г. Москва, ул. Героев-Панфиловцев, 20)

Автоклавные силикатные материалы на основе отходов формовочных масс литейного производства

Данная работа посвящена исследованию возможности получения высокопрочных автоклавных прессованных изделий на основе отходов формовочных масс по методу холодно-твердеющих смесей, используемых при литье в черной металлургии. Рассмотрены вопросы, связанные с влиянием активности известково-кварцевого вяжущего как на фазовый состав продуктов твердения, так и на итоговую прочность полученного материала. При помощи рентгенофазового и дериватографического анализов установлено, что в основном связующее сложено из низкоосновных гидросиликатов кальция, и дано объяснение этому явлению. Установлена оптимальная активность как самого вяжущего, так и формовочной смеси. В ходе работы установлено, что эти отходы – ценное сырье для производителей изделий автоклавного твердения.

Ключевые слова: строительные материалы, известково-кварцевые вяжущие, автоклавная обработка, техногенные отходы.

Для цитирования: Тихомирова И.Н., Макаров А.В., Карпенко М.А. Автоклавные силикатные материалы на основе отходов формовочных масс литейного производства // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 28–31.

I.N. TIHOMIROVA, Candidate of Sciences (Engineering), A.V. MAKAROV, Candidate of Sciences (Engineering) (Makarov_otc@bk.ru), M.A. KARPENKO, Bachelor Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (20, Geroev Panfilovtcev Street, Moscow, 123480, Russian Federation)

Autoclave Silicate Materials Based on Wastes of Molding Masses of Foundry

This work is devoted to the investigation of the possibility to obtain high-strength autoclave extruded products on the basis of wastes of molding masses according to the CHM-method used in casting in ferrous metallurgy. The issues, connected with the influence of the activity of the calc-quartz binder both on the phase composition of hardening products and on the final strength of the obtained material, are considered. With the help of x-ray diffraction and derivatographic analysis, it is found that the binder is mostly made up of low-basic calcium hydro-silicates and an explanation to this phenomenon is given. The optimal activity of both the binder and the molding mixture has been established. In the course of the work it was established that these wastes can be a very valuable raw material for manufacturers of autoclave hardening products.

Keywords: building materials, lime-quartz binders, autoclaving, anthropogenic waste.

For citation: Tihomirova I.N., Makarov A.V., Karpenko M.A. Autoclave Silicate Materials Based on Wastes of Molding Masses of Foundry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 28–31. (In Russian).

В настоящее время вопросы экологии производства выходят на первый план. Это связано не только с разрушительным влиянием человека на окружающую среду, но и с постепенным устареванием ныне существующих крупнотоннажных производств, таких как стале- и чугунолитейные. Так как их модернизация требует значительных капитальных вложений, то их эффективность можно повысить за счет возведения вокруг них предприятий – спутников, обеспечивающих комплексную переработку сырья и отходов [1].

Отливка стальных изделий ведется в песчаные формы, связкой в которых может являться глина, жидкое стекло, органическая смола. Данная работа посвящена вопросам утилизации отходов от формовочных масс на основе жидкостекольного связующего. При формировании такой формы песок смешивается с отвердителем для жидкого стекла (чаще всего для этого используются сложные эфиры органических кислот и гликоли), затем в полученную массу добавляют 3–5% жидкого стекла, перемешивают, далее масса подается в формовочный ящик, где расположена модель. После кратковременного виброуплотнения, и сушки при 85°C в течение получаса прочность песчаной смеси уже достаточна для того, чтобы снимать слепок с модели. В полученный слепок и осуществляется отливка стали, в ходе которой происходит частичное разрушение силикатной связки. Следствием этого является низкая остаточная прочность формы, обеспечивающая достаточно легкое извлечение отливки. Так как этот способ не требует отдельных мощных тепловых агрегатов для обработки форм, то он получил название метод холодно-твердеющих смесей (ХТС-метод) [2, 3].

При отливке связка в той или иной степени разрушается и формирует на поверхности зерен песка тонкую

пленку, которая из-за повышенной щелочности действует как минерализатор, приводя к формированию на поверхности кварца кристобалита и тридимита. Образовавшийся рыхлый, обогаченный щелочью слой удаляют путем оттирки и полученный регенерированный песок частично используют для изготовления новых формовочных масс, но часть его идет в отходы. Количество повторно используемого регенерированного песка составляет до 40%, так как иначе прочность слепков с модели сильно падает. Пылевидная фракция, образующаяся при оттирке, сепарируется в циклонах, которая также является отходом. Утилизация этих отходов является актуальной задачей для литейных производств. Излишки регенерированного песка идут на посыпку дорог, а пыль ввиду ее высокой щелочности и высокой дисперсности вывозят на полигоны, где закапывают, что наносит вред окружающей среде.

Таким образом, возникла необходимость проверки возможности применения этих отходов в производстве силикатных изделий автоклавного твердения, так как основу известково-кварцевого вяжущего составляет тонкомолотый кварц, а в качестве интенсификатора твердения иногда вводят щелочь [4].

В качестве объектов исследования использовались отходы ЗАО «Балаково-Центролит», а именно циклонная пыль и регенерированный кварцевый песок.

Петрографический анализ показал, что частицы циклонной пыли имеют размер 2–15 мкм, и помимо α -кварца в ней содержатся почти 50% фаз кристобалита и тридимита (в соотношении примерно 1:3). Регенерированный песок также имеет на поверхности частиц неравномерно распределенные тридимитизированные участки, доля которых составляет около 5% от

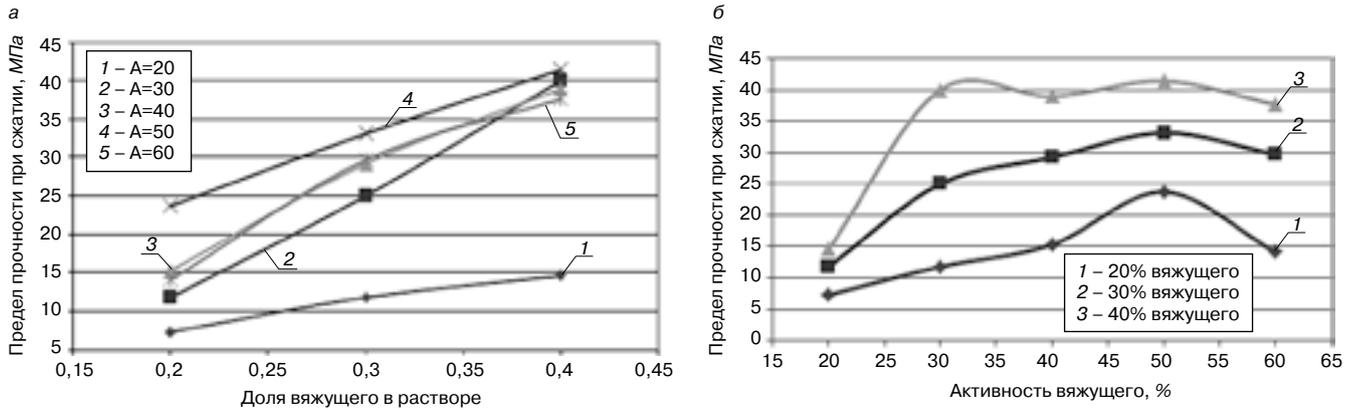


Рис. 1. Зависимость прочности при сжатии образцов растворов: а – от количества вяжущего; б – от активности вяжущего

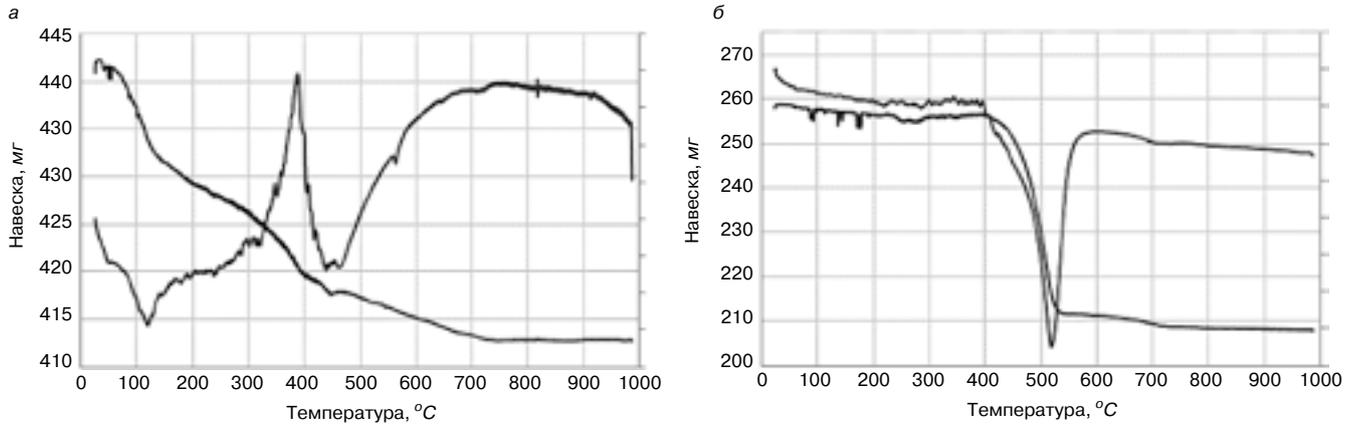


Рис. 2. Термограммы сырьевых материалов: а – гидратированной в автоклаве циклонной пыли; б – гашеной извести

общей площади песка. Так как кристобалит и тридимит при невысоких температурах являются фазами метастабильными, можно ожидать их более активного растворения и взаимодействия с гидроксидом кальция по сравнению с кварцем в гидротермальных условиях с образованием гидросиликатного (ГСК) связующего.

Известково-кварцевые вяжущие получали путем совместного перемешивания циклонной пыли и извести. Активность вяжущих варьировалась от 10 до 60%. Вяжущее смешивали с регенерированным песком. В полученных смесях доля вяжущего составляла 20, 30 и 40 мас. %. После загашивания извести и остывания массы в нее дополнительно вводилось 8% воды, формовали образцы-цилиндры диаметром 28 и высотой 20 мм методом полусухого прессования при давлении 10 МПа. Отдельно также были сформованы цилиндры неразбавленных известково-кварцевых вяжущих. Образцы подвергались гидротермальной обработке в автоклаве по режиму: 2 ч – подъем температуры и давления; 8 ч – изотермическая выдержка при 185°C; 2 ч – снижение давления.

После гидротермальной обработки образцы песчаных смесей на основе вяжущего с активностью 10%, были размыты конденсатом и их прочность не была определена. Прочностные показатели всех прочих образцов представлены в виде графиков, отражающих зависимость предела прочности при сжатии от количества вяжущего (рис. 1, а) и его активности (рис. 1, б).

Увеличение прочности при увеличении количества вяжущего в смеси с песком (рис. 1, а) носит практически линейный характер. Характер зависимости прочности материала от содержания извести в вяжущем (его активности) (рис. 1, б) для сырьевых смесей с разным количеством вяжущего носит похожий характер: рост $R_{сж}$ с увеличением активности вяжущего до значений ~50%, причем тем интенсивнее, чем больше доля связующего, а далее незначительный спад. Волнообразный

характер этих зависимостей связан с совокупностью влияния двух факторов, определяющих прочность: количество и качественный состав новообразований, формирующихся в ходе автоклавной обработки.

Фазовый состав продуктов гидратации вяжущих с разной активностью определяли на основе данных рентгенофазового анализа (РФА) (табл. 1) и термографического исследования (рис. 2, 3).

Увеличение количества извести в вяжущем приводит к формированию более основных гидросиликатов кальция (ГСК). При активности менее 30% структурообразующими кристаллическими фазами являются преимущественно двухосновные α -гидрат двухкальциевого силиката и гиллебрандит, но присутствуют также полтораосновный гиролит и низкоосновный тоберморит. Вероятно, помимо кристаллических фаз в системе образуются также и аморфные ГСК, основность которых должна находиться в пре-

Фазы, зафиксированные методом РФА в составе затвердевших вяжущих различной активности

Выявленная фаза	Активность исходного вяжущего, %					
	10	20	30	40	50	60
α -кварц	+	+	+	+	+	+
Портландит (Ca(OH)_2)	-	-	-	+	+	+
Кальцит (CaCO_3)	-	-	-	+	+	+
α -гидрат двухкальциевого силиката ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	-	+	+	+	+	+
Гиллебрандит ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	+	-	+	+	-	-
Гиролит ($2\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	+	+	+	+	-	+
Тоберморит, 11,3 Å ($5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	+	+	+	-	-	-
Кальциевый хондродит ($5\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	-	-	-	-	-	+
Деллаит ($6\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	-	-	-	-	-	+

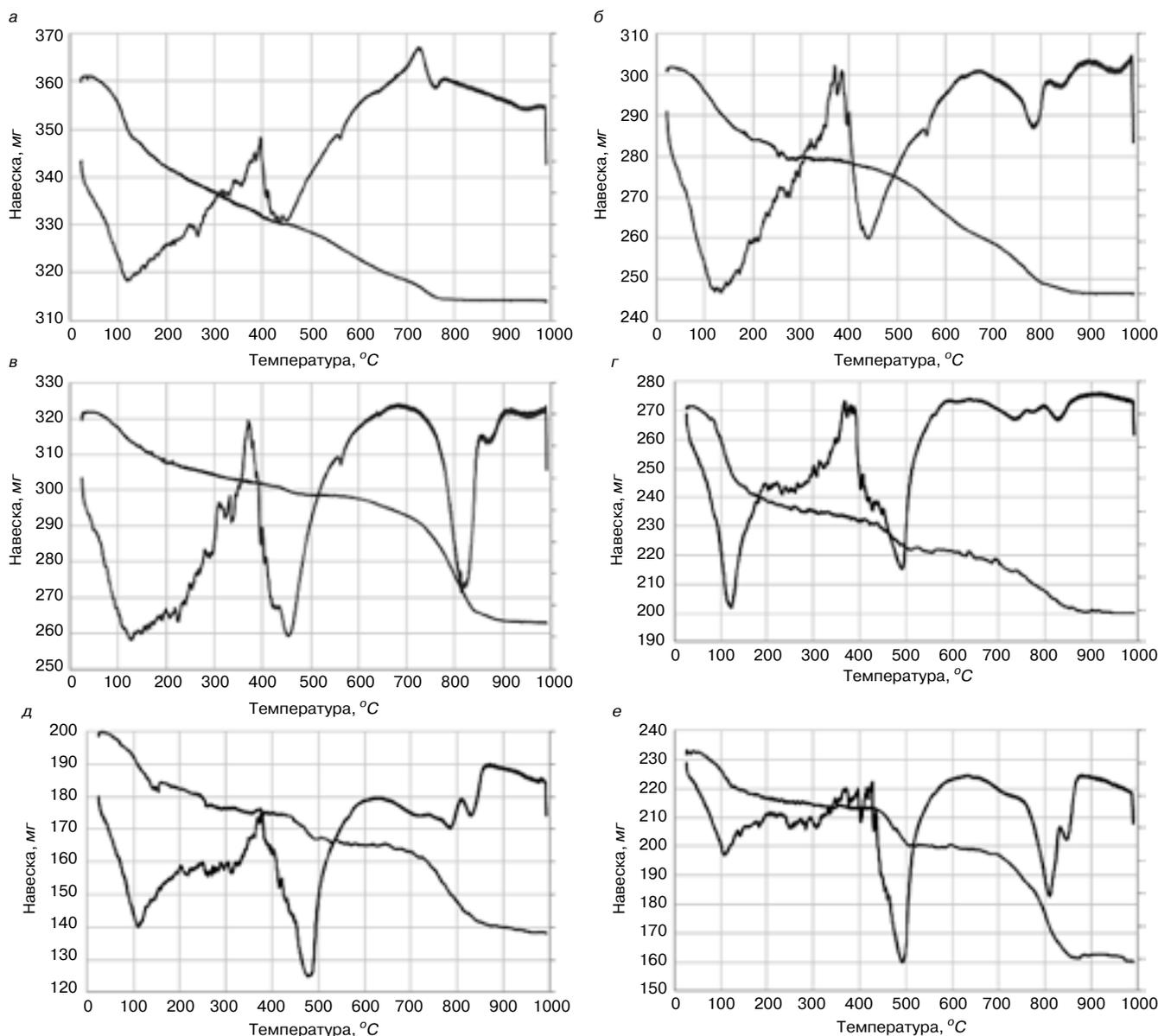


Рис. 3. Термограммы прошедших автоклавную обработку образцов известково-кварцевого вяжущего с активностью: а – 10%; б – 20%; в – 30%; г – 40%; д – 50%; е – 60%

делах от 1 до 2. Следует отметить также, что для этих составов несвязавшейся извести нет. Эти низкоосновные фазы образуют достаточно прочные сростки.

В вяжущих с активностью выше 30% помимо двухосновных фаз появляются и более высокоосновные ГСК: кальциевый хондродит, деллаит, а низкоосновный тоберморит отсутствует [5, 6]. Начиная с активности вяжущего 40% в продуктах твердения устойчиво фиксируется непрореагировавшая известь и кальцит, являющийся продуктом взаимодействия известкового раствора и углекислого газа атмосферы автоклава. Высокоосновные фазы образуют менее прочные структуры, и этим объясняется снижение прочности вяжущего при его активности выше 50% (рис. 1, б).

Дифференциально-термический анализ (ДТА) известково-кварцевых вяжущих различной активности (рис. 3) и сырьевых материалов (рис. 2) показал, что по мере увеличения активности вяжущего экзотермический эффект в интервале температуры 300–400°C постепенно уменьшается. Это связано с количественным уменьшением циклонной пыли в составе вяжущего. Сам этот эффект является следствием выгорания углерода, являющегося продуктом разрушения органических отвердителей и

модификаторов жидкостекольного связующего, так как сопровождается потерей массы, применяемых при ХТС-методе формирования литейных форм (рис. , а).

С ростом активности вяжущего до 30% постепенно увеличивается площадь эндозффекта при 420–470°C, который связан с разложением α -гидрата C_2S , и он постепенно смещается в область более высокой температуры. При повышении содержания извести в исходной массе сверх 30% (рис. 3, г–е) появляется и непрерывно усиливается эффект разложения портландита при 470–510°C (рис. 3, б). Само содержание извести в 30% является пороговой величиной, так как уже на этой концентрации отслеживается незначительное количество свободного портландита.

Эндозффект при 760–820°C, увеличивающийся и смещающийся в сторону более высокой температуры, по мере увеличения количества извести может быть связан с разложением γ -гидрата C_2S , а его постепенное смещение в сторону большей температуры обусловлено изменением количества гидратной воды.

Отдельно следует отметить отсутствие тепловых эффектов, связанных с образованием воластонита из низкоосновных ГСК. Широкие размытые эффекты,

которые могли бы быть отнесены к этому процессу, также проявляются при содержании извести менее 30% (рис. 3, а–в) и очень быстро затухают, смещаясь в сторону большей температуры при увеличении ее количества.

Набор незначительных эндоэффектов в интервале 200–350°C связан с дегидратацией смешанных натрий-кальциевых гидросиликатов. При этом смещение пиков в большую сторону при увеличении количества СаО в системе указывает на уменьшение натрий-кальциевого отношения в синтезируемых продуктах. Также на всех термограммах присутствует эффект полиморфного $\beta \rightarrow \alpha$ перехода кварца при 575°C [7–9]. Данные ДТА образцов вяжущего подтверждают результаты РФА.

Исходя из результатов исследования фазового состава можно объяснить соотношение зависимостей, приведенных на рис. 1. а. При активности вяжущего 20% малое количество извести хотя и обеспечивает кристаллизацию хорошо срастающихся относительно низкоосновных ГСК, но их количество недостаточно для формирования прочной структуры. Для вяжущих с большей активностью наблюдается следующая тенденция: разницы в прочностных образцов при малом количестве самого вяжущего в сырьевой смеси для составов с разной активностью существенна, но чем больше количество вяжущего в смеси, тем в меньшей степени активность влияет на прочность. Это можно объяснить тем, что при малом количестве вяжущего в сырьевой смеси количество относительно высокопрочных низкоосновных ГСК невелико и прочность определяется в основном количеством цементирующих фаз, а оно тем выше, чем больше доля вяжущего. Если количество известково-

кварцевого вяжущего в сырьевой смеси приближается к 0,4, то количество цементирующего вещества велико и уже не столь важно, какова основность этих ГСК.

Таким образом, в ходе работы установлено, что отходы сталелитейного производства по ХТС-методу на основе регенерированного песка и циклонной пыли являются ценным сырьем и позволяют получать при стандартной автоклавной обработке прессованные изделия с пределом прочности при сжатии около 40 МПа.

Установлено, что наиболее оптимальным содержанием СаО в вяжущем является 30%; соотношение вяжущее/заполнитель должно составлять 4/6.

Дифференциально-термический анализ связующего показал, что при активности вяжущего до 30%, несмотря на полное усвоение извести, в новообразования за время автоклавной обработки, формируются преимущественно двухосновные или полторторные ГСК. Причиной этого могут являться катионы Na^+ , выходящие в жидкую фазу при растворении поверхности зерен кварца и особенно частиц пыли, следствием чего является повышенное значение рН жидкой фазы, устойчивыми в которой могут быть только высокоосновные ГСК.

Таким образом, несмотря на достаточно высокоосновный характер связующего, получающегося в ходе гидратации отходов формовочных масс сталелитейного производства в присутствии извести, на их основе можно получать прочные силикатные изделия автоклавного твердения. При этом решаются также важные экологические проблемы по утилизации отходов, кроме того, за счет их использования можно повысить рентабельность производства силикатного кирпича.

Список литературы

1. Усов Б.А., Окольников Г.Э., Акимов С.Ю. Экология и производство строительных материалов // *Системные технологии*. 2015. № 17. С. 84–105.
2. Борсук П.А., Лясс А.М. Жидкие самотвердеющие смеси. М.: Машиностроение, 1979. 255 с.
3. Шабанов Д.Н., Иваненко А.М. Формирование структуры силикатного кирпича, получаемого из отходов литейной промышленности // *Вестник Полоцкого государственного университета*. 2011. № 8. С. 73–76.
4. Матулис Б.Ю., Матулите В.Б. Влияние едкого натрия на процессы образования автоклавного цементирующего вещества. *Институт ВНИИ Теплоизоляция: Сборник трудов*. Вильнюс, 1976. Вып. 8. С. 131–140.
5. Рахимбаев Ш.М., Кафтаева М.В., Курбатов В.Л., Комарова Н.Д., Теличко А.В. О влиянии основности и пористости на прочностные характеристики силикатных материалов // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 3. С. 35–38.
6. Кафтаева М.В., Рахимбаев И.Ш. К вопросу о фазовом составе гидросиликатного связующего автоклавного газобетона // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. № 10. С. 370–372.
7. Федосов С.В., Акулова М.В., Потемкина О.В., Емелин В.Ю., Белякова Н.А. Исследование изменения фазового состава пенобетона с добавлением жидкого стекла и стеклобоя термографическим методом // *Известия Юго-Западного государственного университета*. 2013. № 5. С. 173–180.
8. Харченко Е.А., Свидерский В.А., Глуховский И.В. Синтез и свойства низкоосновных гидросиликатов кальция нестабильной кристаллической структуры // *International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE"*. 2015. № 3 (3). Vol. 1. С. 50–54.
9. Акулова М.В., Потемкина О.В., Емелин В.Ю., Коллеров А.Н. Влияние жидкого стекла на термостойкость цементных композиций // *Приволжский научный журнал*. 2013. № 1. С. 17–21.

References

1. Usov B.A., Okol'nikova G.E., Akimov S.Yu. Ecology and production of construction materials. *Sistemnye tekhnologii*. 2015. No. 17, pp. 84–105. (In Russian).
2. Borsuk P.A., Lyass A.M. Zhidkie samotverdeyushchie smesi [The liquid self-hardening compounds]. Moscow: Mashinostroenie, 1979. 255 p.
3. Shabanov D.N., Ivanenko A.M. Structure formation of the silicate brick received from waste of the foundry industry. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. No. 8, pp. 73–76. (In Russian).
4. Matulis B. Yu., Matulite V.B. Influence of caustic sodium on processes of formation of the autoclave cementing substance. *Institut VNIИ Teploizolyatsiya: sbornik trudov*. Vilnius, 1976. Issue 8, pp. 131–140. (In Russian).
5. Rakhimbayev Sh.M., Kaftayeva M.V., Kurbatov V.L., Komarova N.D., Telichko A.V. About influence of basicity and porosity on strengthening characteristics of silicate materials. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014. No. 3, pp. 35–38. (In Russian).
6. Kaftayeva M.V., Rakhimbayev I.Sh. To a question of phase composition of a hydrosilicate binding autoclave gas concrete. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2013. No. 10, pp. 370–372. (In Russian).
7. Fedosov S.V., Akulova M.V., Potemkina O.V., Emelin V.Yu., Belyakova N.A. Issledovaniye of change of phase composition of foam concrete with adding of liquid glass and a cullet by the Thermal method. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2013. No. 5, pp. 173–180. (In Russian).
8. Harchenko E.A., Svidersky V.A., Glukhovskiy I.V. Synthesis and properties of the low-main hydrosilicates of calcium of unstable crystalline structure. *International Scientific and Practical Conference "WORLD SCIENCE"*. 2015. No. 3 (3), Vol. 1, pp. 50–54. (In Russian).
9. Akulova M.V., Potemkin O.V., Yemelin V.Yu., Kollerov A.N. Influence of liquid glass on the thermal stability of cement aggregates. *Privolzhskii nauchnyi zhurnal*. 2013. No. 1, pp. 17–21. (In Russian).

В.Н. ДЕРКАЧ, д-р техн. наук (v-derkach@yandex.ru), И.Е. ДЕМЧУК, инженер

Филиал Республиканского унитарного предприятия «Институт БелНИИС» «Научно-технический центр» (Республика Беларусь, 224023, г. Брест, ул. Московская, 267/2)

Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах

Часть 3. Прочность и деформативность при сдвиге

Приведены результаты экспериментальных исследований на сдвиг и диагональное сжатие образцов каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков на тонкослойных полиуретановых швах. На основании экспериментальных исследований выявлены особенности разрушения опытных образцов, получены значения начальной прочности каменной кладки при сдвиге, а также значения модуля сдвига и предельного значения угла сдвиговых деформаций каменной кладки. Установлено, что при действии сдвигающего усилия в плоскости горизонтальных полиуретановых швов разрушение кладки происходит в результате исчерпания прочности материала блока на сдвиг. Выполнено сопоставление полученных результатов с результатами экспериментальных исследований каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков на тонкослойных клеевых полимерцементных швах. Показано отличие в характере разрушения образцов кладки на полимерцементном клеевом растворе и на клей-пене, а также их прочностных и деформационных характеристик при сдвиге.

Ключевые слова: каменная кладка, ячеисто-бетонные блоки, полиуретановый клей, прочность на сдвиг, модуль сдвига, угол сдвиговых деформаций.

Для цитирования: Деркач В.Н., Демчук И.Е. Прочность и деформативность каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на полиуретановых швах. Часть 3. Прочность и деформативность при сдвиге // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 32–35.

V.N. DERKACH, Doctor of Sciences (Engineering) (v-derkach@yandex.ru), I.E. DEMCHUK, Engineer
Branch of Republican Unitary Enterprise «Institute BelNIIS», «Scientific-Technical Center» (267/2, Moskovskaya Street, Brest, 224023, Republic of Belarus)

Strength and Deformability of Stone Masonry Made of Cellular Concrete Blocks of Autoclaved Hardening with Polyurethane Joints. Part 3. Strength and Deformability at Shear

Results of the experimental research in the shear and diagonal compression of stone masonry samples made of cellular-concrete blocks with thin-layer polyurethane joints are presented. On the basis of the experimental studies, peculiarities of the destruction of experimental samples have been revealed; values of the initial strength of the stone masonry at shear as well as values of the shear module and ultimate values of the angle of shear deformations of the masonry have been obtained. It is established that under the impact of shear load in the plane of horizontal polyurethane joints, the destruction of the masonry occurs as a result of exhaustion of strength of the block material for shear. The comparison of the results obtained with the results of the experimental study of the stone masonry made of cellular-concrete blocks with thin-layer polymer-cement joints is made. The difference in the nature of destruction of samples of stone masonry on the polymer-cement adhesive solution and on the adhesive foam as well as their strength and deformation characteristics at shear are shown.

Keywords: stone masonry, cellular-concrete blocks, polyurethane glue, shearing strength, shear module, angle of shear deformations.

For citation: Derkach V.N., Demchuk I.E. Strength and deformability of stone masonry made of cellular concrete blocks of autoclaved hardening with polyurethane joints. Part 3. Strength and deformability at shear. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 32–35. (In Russian).

При воздействиях, вызывающих сдвиговые деформации каменных стен в их плоскости, практическое значение имеют два механизма разрушения каменной кладки: сдвиг кладки по неперевязанному сечению и ее разрыв по наклонному сечению. Первый механизм разрушения реализуется, когда прочность горизонтального шва на срез или сцепление между материалом шва и кладочным изделием ниже прочности последнего на растяжение (разрыв). В этом случае происходит «скольжение» кладки по горизонтальному шву либо по плоскости его контакта с кладочным изделием. Разрушение происходит внезапно, поэтому появление горизонтальной трещины является свидетельством нарушения предельного состояния несущей способности каменной конструкции.

Второй механизм разрушения имеет место, когда прочность швов на срез превышает прочность кладочного изделия на растяжение, или при высоких значениях сжимающих напряжений в кладке. В этом случае в каменной кладке возникает наклонная трещина в направлении перпендикулярном действию главных растягивающих напряжений. Появление такой трещины не свидетельствует о разрушении конструкции, а лишь о

нарушении предельного состояния эксплуатационной пригодности. В то же время наклонные трещины являются сигналом о возможном исчерпании несущей способности каменной конструкции при увеличении нагрузки [1–3].

В перечисленных случаях сопротивление стены сдвигу определяется начальной прочностью кладки на сдвиг (прочностью касательного сцепления) f_{j0} , коэффициентом внутреннего трения $tg\varphi$ и прочностью шва на растяжение под углом к горизонтальным швам $f_{i\theta}$.

При воздействиях, вызывающих сдвиг кладки в плоскости стены, проверку предельных состояний стены можно выполнить на основании деформационного критерия из условия: $\theta_{sd} \leq \theta_{adm}$, где θ_{adm} — предельные значения угловых деформаций каменной кладки (углов перекося), которые устанавливаются экспериментально и зависят от вида кладочных изделий, прочностных и деформационных характеристик материала швов, степени заполнения вертикальных швов и других факторов.

Угловые деформации θ_{sd} кладки определяются из выражения (1):

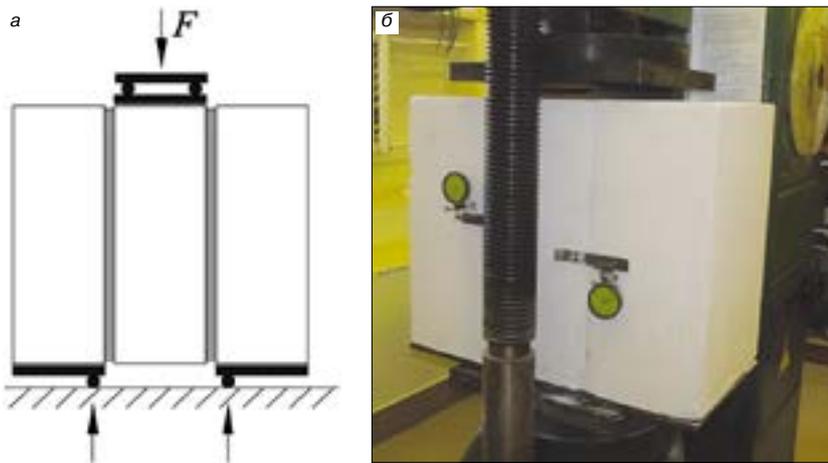


Рис. 1. Испытания на сдвиг в плоскости горизонтальных швов: а – схема испытаний; б – общий вид опытного образца

$$\theta_{sd} = \frac{\tau_{xy}}{G} = \frac{V_k}{G \cdot F}, \quad (1)$$

где V_k – характеристическое значение поперечной силы; G – модуль сдвига каменной кладки; F – площадь горизонтального сечения каменной стены.

В соответствии с действующими нормами [4, 5] значение G кладок на тонкослойных полимерцементных растворах принимается равным 40% от модуля упругости кладки E . Для кладок на полиуретановых швах значение модуля сдвига G неизвестно.

С целью получения перечисленных прочностных и деформационных характеристик каменной кладки из ячеисто-бетонных блоков на полиуретановых швах в филиале РУП «Институт БелНИИС» – НТЦ были выполнены экспериментальные исследования образцов кладки, подверженных сдвигу в плоскости горизонтальных швов и сжатию сосредоточенной силой, приложенной под углом 45° к горизонтальным растворным швам.

Опытные образцы кладки выполнялись из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения плотностью D400, размерами $600 \times 400 \times 250$ мм. Установленные на основании испытаний средние значения приведенной прочности блоков при сжатии f_b равнялись 2,5 МПа, прочности на сдвиг f_{bv} – 0,3 МПа.

Кладка ячеисто-бетонных блоков производилась на однокомпонентную полиуретановую клей-пену торговой марки TYTAN PROFESSIONAL производства Республики Польша, которая наносилась тремя полосами на опорную и стыковую поверхности блока. Всего было изготовлено по шесть образцов кладки на клей-пене и на полимерцементном клеевом растворе М75 для испытаний на сдвиг в плоскости горизонтальных швов,

а также три образца на клей-пене и один образец на полимерцементном клеевом растворе для испытаний на диагональное сжатие.

Форма и размеры опытных образцов кладки для испытаний на сдвиг назначались в соответствии с СТБ EN 1052-3, а образцов для испытаний на диагональное сжатие в соответствии с ASTM E519-026 [6]. Сразу после изготовления образцу прикладывали предварительную вертикальную равномерно распределенную сжимающую нагрузку таким образом, чтобы сжимающие напряжения в сечении образца достигали около $2,5-3 \cdot 10^{-3}$ МПа. В нагруженном состоянии образцы хранились в лабораторных условиях при температуре $+10^\circ\text{C}$ и влажности воздуха 60–70%. Испытание

образцов, изготовленных на клей-пене, производилось в возрасте 8 сут, а образцов на полимерцементном клеевом растворе в возрасте 28 сут.

Испытаниям на сдвиг в плоскости горизонтальных швов подвергались образцы кладки типа А по СТБ EN 1052-3 (рис. 1). Нагружение опытных образцов производилось с помощью лабораторного испытательного пресса П-125. Крайние блоки устанавливались на стальные пластины толщиной 14 мм, которые опирались на плиту пресса через роликовые опоры диаметром 12 мм. Нагрузка передавалась на средний блок через две стальные пластины толщиной 14 мм и расположенные между ними роликовые опоры диаметром 12 мм.

Скорость приложения нагрузки выбиралась такой, чтобы напряжение сдвига, возникающее в плоскости горизонтальных швов, возрастало со скоростью от 0,1 до 0,4 МПа/мин.

Начальная прочность при сдвиге f_{v0i} (МПа) рассчитывалась по каждому испытываемому образцу с точностью до 0,01 МПа по формуле (2):

$$f_{v0i} = \frac{F_{i,max}}{2A_i}, \quad (2)$$

где $F_{i,max}$ – максимальное значение усилия сдвига, Н; A_i – площадь сечения испытываемого образца кладки параллельно горизонтальным швам, мм^2 .

Модуль сдвига G и прочность кладки на растяжение f_{t45} устанавливались по результатам испытаний образцов, подвергнутых сжатию сосредоточенной силой, приложенной под углом 45° к горизонтальным растворным швам (рис. 2).

Опытные образцы кладки нагружались при помощи силовой рамы, снабженной гидравлическим домкратом



Рис. 2. Испытание на диагональное сжатие



Рис. 3. Характер разрушения образцов кладки при сдвиге в плоскости горизонтальных швов: а – на полиуретановой клей-пене; б – на полимерцементном растворе



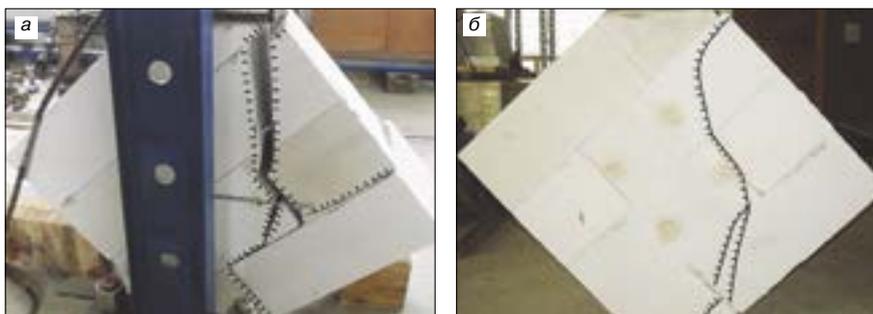


Рис. 4. Характер разрушения образцов кладки при диагональном сжатии: а – на полимерцементном растворе; б – на полиуретановой клей-пене

том. Во избежание смятия нагружаемых углов последние срезались таким образом, чтобы длина опорной площадки не превышала 1/5 размера меньшей стороны образца. Передача нагрузки на образцы осуществлялась через стальные пластины толщиной 30 мм, уложенные на слой раствора. Помещенные в силовую установку образцы центрировались так, чтобы показания по индикаторам перемещений, расположенных на противоположных гранях образца, были примерно одинаковы. В ходе испытаний усилие возрастало равномерно, при этом скорость нагружения выбиралась такой, чтобы достичь разрушения образца в пределах 15–30 мин от начала приложения нагрузки. После каждого этапа нагружения на протяжении 2 ± 1 мин делалась выдержка для определения приращений деформаций кладки. Приращения деформаций кладки в вертикальном и горизонтальном направлениях устанавливались с помощью индикаторов перемещений часового типа с точностью $\pm 1 \cdot 10^{-3}$ мм.

В процессе испытаний регистрировались:

- размеры поперечного сечения испытываемых образцов с точностью до ± 1 мм;
- деформации укорочения по вертикали и деформации удлинения по горизонтали на каждом этапе нагружения;
- нагрузка, при которой происходило разрушение образца;
- характер разрушения образца.

Растягивающие напряжения $f_{t45,i}$ (МПа), при которых произошло разрушение испытанного образца, рассчитывались по формуле (3):

$$f_{t45,i} = \frac{0,707 P_{max,i}}{A_{s,i}}, \quad (3)$$

где $P_{max,i}$ – разрушающая нагрузка (Н); $A_{s,i}$ – площадь образца (мм^2), определяемая по формуле (4):

$$A_{s,i} = \left(\frac{w+h}{2} \right) \cdot t \cdot n, \quad (4)$$

где w – ширина образца (мм); h – высота образца (мм); t – суммарная толщина образца (мм); n – коэффициент, учитывающий пустотность кладочных элементов (отношение площади ложковой поверхности кладочного элемента без учета пустот (нетто) к общей площади (брутто)).

На каждом этапе нагружения устанавливалась величина максимальных касательных напряжений τ (5) и относительных деформаций сдвига γ (6):

$$\tau = \frac{0,707 P}{A_s}; \quad (5)$$

$$\gamma = \frac{\Delta V + \Delta H}{g}, \quad (6)$$

где ΔV – деформации укорочения по вертикали (мм); ΔH – деформации удлинения по горизонтали (мм); g – база измерения деформаций (мм).

Модуль сдвига G (МПа) рассчитывался по формуле (7):

$$G = \frac{\tau}{\gamma}. \quad (7)$$

При действии сдвигающего усилия в плоскости горизонтальных швов разрушение опытных образцов, выполненных на полиуретановой клей-пене, произошло в результате сдвига по материалу ячеисто-бетонного блока (рис. 3, а). Среднее значение начальной прочности при сдвиге f_{v0} составило 0,23 МПа, характеристическое значение –

$f_{v0k} = 0,18$ МПа, что выше значения $f_{v0k} = 0,065 f_b = 0,16$ МПа, установленного в Еврокоде 6 [3].

Образцы, выполненные на клею полимерцементном растворе, разрушились вследствие сдвига по телу растворного шва с разрывом материала блока (рис. 3, б). При этом среднее и характеристическое значения начальной прочности при сдвиге были близкими к значениям f_{v0} и f_{v0k} кладки на полиуретановой клей-пене.

При нагружении опытных образцов сжимающей сосредоточенной силой, приложенной под углом 45° к горизонтальным растворным швам, разрушение образцов на полиуретановых и полимерцементных швах произошло вследствие раскалывания кладки вдоль сжатой диагонали.

Разрушение кладки на полимерцементных швах носило хрупкий характер, образовавшаяся трещина сразу же получала значительное раскрытие, разделяя образец на две части (рис. 4, а).

В образцах, выполненных на полиуретановых швах, ширина возникающих диагональных трещин была значительно ниже, чем в образце на полимерцементных швах (рис. 4, б). Однако после возникновения диагональной трещины деформативность кладки резко возрастала, и она переставала сопротивляться действию сжимающей нагрузки.

Среднее значение прочности на растяжение под углом 45° к горизонтальным швам $f_{t,45}$ для кладки на полиуретановых швах составило 0,18 МПа, а для кладки на полимерцементных швах 0,13 МПа.

На рис. 5 приведены графики деформирования опытных образцов кладки.

Из рис. 5 следует, что кладка из ячеисто-бетонных блоков на полимерцементных швах при диагональном сжатии работала упруго до наступления разрушения. Величина относительных деформаций удлинения кладки ϵ_l при нагрузке, близкой к $F_{max} \approx 2 \cdot 10^{-4}$, а относительных деформаций укорочения $\epsilon_c \approx 5 \cdot 10^{-4}$.

Относительные деформации удлинения и укорочения кладки на полиуретановых швах с увеличением сжимающей нагрузки нарастали нелинейно. Наиболее интенсивное приращение относительных деформаций наблюдалось при нагрузке $F > 0,5 F_{max}$. Максимальные значения ϵ_c и ϵ_l кладки на полиуретановых швах были примерно в четыре раза выше, чем в кладке на полимерцементных швах.

На рис. 6 приведены графики зависимости модуля сдвига G_{obs} от величины касательных напряжений в каменной кладке τ_{obs} .

Из рис. 6 следует, что модуль сдвига G_{obs} снижался с ростом касательных напряжений τ_{obs} . При значениях $\tau_{obs} = 1/3 \tau_{max}$ для кладки на полиуретановых швах среднее значение $G_{obs} = 158$ МПа, что составило около 50% от ее модуля упругости E [1]. Для кладки на полимерцементных швах $G_{obs} = 0,35 E = 250$ МПа. Полученные на основании экспериментальных исследований значения модулей сдвига G_{obs} близки к значению $G = 0,4 E$, которое

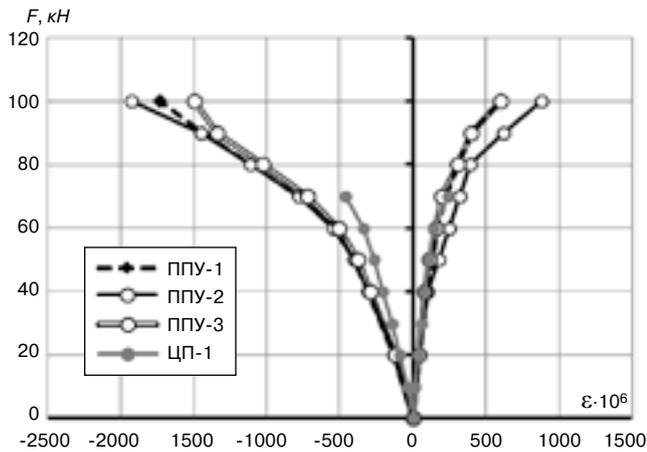


Рис. 5. Графики деформирования образцов кладки при диагональном сжатии: ППУ – образцы на полиуретановых швах; ЦП – образец на полимерцементных швах

установлено в нормах [4, 5], а также в техническом свидетельстве [7].

Предельное значение угловых деформаций каменной кладки на полиуретановых швах $\theta_{adm}=0,7 \cdot 10^{-3}$ в 1,75 раза превысило значение $\theta_{adm}=0,4 \cdot 10^{-3}$ для кладки на полимерцементных швах.

Опытные данные предельных значений углов перекоса для различных видов каменных кладок содержатся в работе [8]. Для кладки из ячеисто-бетонных блоков В2,5 плотностью D500 на тонкослойном клеевом растворе значение $\theta_{adm}=0,6 \cdot 10^{-3}$ при модуле сдвига $G=359$ МПа.

На основании проведенных исследований можно заключить, что разрушение кладки из ячеисто-бетонных блоков D400 прочностью $f_b=2,5$ МПа на однокомпо-

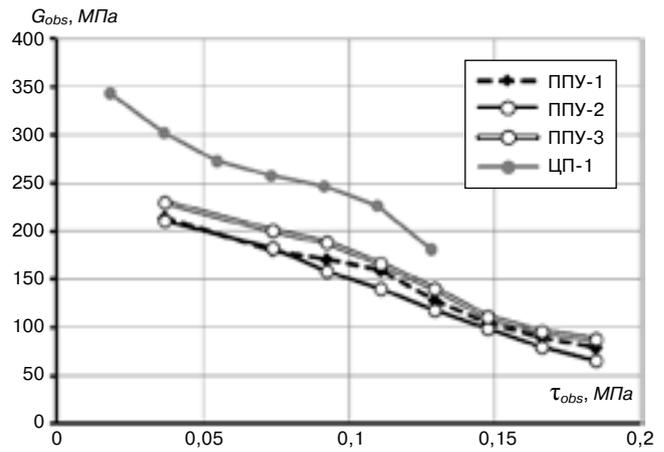


Рис. 6. Графики зависимости G_{obs} от τ_{obs} : ППУ – образцы на полиуретановых швах; ЦП – образец на полимерцементных швах

нентной полиуретановой клей-пене при действии сдвигающего усилия в плоскости, параллельной плоскости горизонтальных швов, происходит вследствие сдвига по материалу блока. При этом опытное характеристическое значение начальной прочности кладки при сдвиге $f_{v0k}=0,18$ МПа оказалось выше значения $f_{v0k}=0,16$ МПа, установленного в Еврокоде 6.

При величине касательных напряжений в каменной кладке на полиуретановых швах $\tau_{obs}=1/3\tau_{max}$ среднее значения модуля сдвига $G_{obs}=158$ МПа, что составляет около 50% от значения секущего модуля упругости E .

Предельное значение угловых деформаций каменной кладки на полиуретановых швах $\theta_{adm}=0,7 \cdot 10^{-3}$ в 1,75 раза превысило значение $\theta_{adm}=0,4 \cdot 10^{-3}$ для кладки на полимерцементных швах.

Список литературы

- Mann W., Müller H. Bruch kriterien für querkraft beanspruchtes Mauerwerk und ihre Anwendung auf gemauerte Windscheiben // *Die Bautechnik*. 1973. № 50. P. 421–425.
- Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Прочность каменной кладки на срез по неперевязанным сечениям // *Строительство и реконструкция*. 2010. № 3. С. 7–13.
- Деркач В.Н., Орлович Р.Б. Прочность каменной кладки на срез по перевязанным сечениям // *Строительство и реконструкция*. 2010. № 5. С. 3–7.
- Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1–1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk: EN 1996-1-1:2005. Berlin: Deutsches Institut für Normung. 2005. 127 p.
- Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22–11: СП 15.13330.2010. М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко: Минрегион России, 2011. 76 с.
- Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages ASTM E519–02: ASTM Committee C15. 2003. 5 p.
- Poliuretanova Zaprawa Murarska TBM w postaci piany, do cienkich spoin. Aprobata Techniczna ITB AT-15-9365/2014. 14 s.
- Деркач В.Н. Учет работы каменного заполнения при статическом расчете каркасных зданий // *Проблемы современного бетона и железобетона: Сборник науч. тр. РУП «Институт БелНИИС»*. Минск: Издательский центр БГУ, 2012. Вып. 4. С. 30–39.

References

- Mann W., Müller H. Bruch kriterien für querkraft beanspruchtes Mauerwerk und ihre Anwendung auf gemauerte Windscheiben. *Die Bautechnik*. 1973. No. 50, pp. 421–425. (In German).
- Derkach V.N., Orlovich R.B. Durability of a masonry on a shear on not tied up sectional views. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2010. No. 3, pp. 7–13. (In Russian).
- Derkach V.N., Orlovich R.B. Durability of a masonry on a shear on tied up sectional views. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2010. No. 5, pp. 3–7. (In Russian).
- Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten. Teil 1–1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk: EN 1996-1-1:2005. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 2005. 127 p.
- Kamennyye i armokamennyye konstruktzii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-22–11: SP 15.13330.2010 [Stone and reinforced masonry structures. Updated version SNiP II-22–11: SP 15.13330.2010]. Moscow: TsNIISK im. V.A. Kucherenko: Minregion Rossii. 2011. 76 p.
- Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages ASTM E519–02: ASTM Committee C15. 2003. 5 p.
- Poliuretanova Zaprawa Murarska TBM w postaci piany, do cienkich spoin. Aprobata Techniczna ITB AT-15-9365/2014. 14 s.
- Derkach V.N. Accounting of filling in wall static calculation frame buildings. *Problems of the modern concrete and reinforced concrete: collection of scientific works of RUP "Institute of BELNIIS"*. Minsk: Izdatel'sky tsentr BGU. 2012. Issue 4, pp. 30–39.

Я.И. ВАЙСМАН¹, д-р мед. наук, А.А. КЕТОВ¹, д-р техн. наук (alexander_ketov@mail.ru),
Ю.А. КЕТОВ¹, инженер; С.А. МАЗУНИН², д-р хим. наук, В.Л. ЧЕЧУЛИН², инженер

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)

Получение пеностекла заданной окраски при использовании ограниченного набора пигментов

Применение пеностекла, как теплоизоляционного материала сдерживается его высокой себестоимостью и связанной с этим низкой конкурентностью в сравнении с другими теплоизоляционными материалами. Гидратный механизм газообразования позволяет получать пеностеклянные изделия белого цвета, которые могут быть окрашены неорганическими пигментами в процессе изготовления. При этом получается долговечная и устойчивая окраска. Совмещение в одном изделии облицовочных и теплоизоляционных свойств существенно повышает потребительские свойства материала и расширяет его рыночные возможности. Однако облицовочные свойства материалов предполагают направленное получение заданных цветовых характеристик готового изделия. Рассматривается возможность получения пеностеклянных изделий с заданным цветом поверхности при использовании ограниченного числа керамических пигментов. Для решения задачи и выбора пигментов применено построение цветовой модели в традиционном для физико-химического анализа пространстве треугольника Гиббса.

Ключевые слова: пеностекло, цветовая модель, керамические пигменты.

Для цитирования: Вайсман Я.И., Кетов А.А., Кетов Ю.А., Мазунин С.А., Чечулин В.Л. Получение пеностекла заданной окраски при использовании ограниченного набора пигментов // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 36–41.

Ya.I. VAYSMA¹, Doctor of Sciences (Medicine), A.A. KETOV¹, Doctor of Sciences (Engineering) (alexander_ketov@mail.ru),

Yu.A. KETOV¹, Engineer; S.A. MAZUNIN², Doctor of Sciences (Chemistry), V.L. CHECHULIN², Engineer

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

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

The defined color cellular glass production using a limited set of pigment

Cellular glass using as heat insulation material is constrained by its high cost and corresponding low competitiveness in comparison with other insulation materials. The hydrated gas producing mechanism allows to obtain cellular glass blocks of white color that can be colored with durable and stable inorganic pigments during manufacture process. The combination of facing and heat insulation properties in a single product significantly improves material consumer properties and increase its market opportunities. However, the presence of additional facing properties needs in directional obtaining the desired color characteristics of the product. The possibility of obtaining cellular glass blocks with specific surface color using a limited number of ceramic pigments is discussed. The task of pigments choosing is solving using the traditional for physical-chemical analysis space of Gibbs triangle.

Keywords: cellular glass, color model, ceramic pigments

For citation: Vaysman Ya.I., Ketov A.A., Ketov Yu.A., Mazunin S.A., Chechulin V.L. The defined color cellular glass production using a limited set of pigment. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 36–41. (In Russian).

Несмотря на сомнительную перспективу применения классического пеностекла в гражданском строительстве как теплоизоляции, материал имеет на наш взгляд перспективу выхода на строительный рынок не столько за счет снижения себестоимости и рыночной цены, сколько за счет придания ему дополнительных потребительских свойств [1]. Сочетание в одном материале теплоизоляционных и облицовочных свойств может открыть новые сектора рынка, в результате чего материал получит конкурентные преимущества даже при объективно высокой стоимости 1 м³. Однако применение пеностекла в облицовочных конструкциях предполагает возможность придания материалу любого заранее заданного цвета. В случае пеностекла, как и других обжиговых изделий, особый интерес представляет возможность окраски неорганическими пигментами в процессе производства, так как такая окраска не выгорает со временем, не подвержена воздействию осадков и имеет практически неограниченный срок службы.

Цветные обжиговые строительные материалы обычно получают введением в сырьевые смеси керамических пигментов, получаемых при высокотемпературном синтезе [2]. Цветовая палитра производимых пигментов ограничена и не всегда отвечает требованиям дизайна. В то же время в полиграфии для создания цветовых оттенков, воспринимаемых глазом, применя-

ется несколько базовых цветов, смешение которых позволяет получать все воспринимаемое человеком многообразие цветов.

Можно предположить, что использование нескольких пигментов, не взаимодействующих между собой химически, может обеспечить создание многочисленных комбинаций, воспринимаемых глазом как новые цвета.

Для решения этой задачи следует использовать методы измерения цветовых характеристик, что включает применение той или иной цветовой измерительной системы, решение задачи колориметрической аттестации, контроля и направленного управления получаемыми цветовыми характеристиками [3]. Для практической деятельности определение точных цветовых характеристик объекта является довольно затратным мероприятием и не всегда целесообразным. Кроме того, на восприятие цвета накладываются особенности индивидуального физиологического восприятия цвета каждым человеком.

Для придания изделию заданного цвета можно применять множество комбинаций пигментов, которые при смешении физиологически воспринимаются как заданный цвет [4, 5].

Наиболее широко применяются цветовые модели RGB, CMYK и LAB. Модель RGB (аббревиатура англ. Red, Green, Blue) является аддитивной цветовой моде-

Таблица 1

Численное значение цветовых функций в модели СМУК для различных условий съемки образца без пигментов (белого образца)

Условия съемки	Вид поверхности	Численное значение цветовых характеристик			
		С	М	Y	К
Дневной свет	Внешняя поверхность	32	25	30	0
Дневной свет	Срез	40	32	38	1
Лампа накаливания	Внешняя поверхность	22	18	21	0
Лампа накаливания	Срез	15	14	12	0
Встроенная вспышка	Внешняя поверхность	2	0	2	0
Встроенная вспышка	Срез	21	16	19	0

лю, описывающей способ синтеза цвета для цветовоспроизведения.

Четырехцветная модель СМУК (Cyan, Magenta, Yellow, Key) формирования цвета основана на сложении отраженных световых потоков, поэтому используется преимущественно в полиграфии для стандартной триадной печати.

В модели LAB значение светлоты отделено от значения хроматической составляющей цвета. Поэтому модель в большей степени на практике подходит для оценки светлоты, чем для решения задач цветовой насыщенности [6, 7].

Для поставленной задачи наиболее подходящей представляется модель СМУК, но она неудобна для выбора пигментов, пригодных для получения заданного цвета. В модели LAB координата интенсивности отделена и на плоскости остается исключительно цветовая характеристика, но модель не отличается наглядностью и в ней трудно сопоставлять координаты цвета АВ с реальными цветами.

Задача осложняется тем, что изменение цветовых характеристик пигмента и готового изделия может быть связано с процессом приготовления. Например, в процессе изготовления введенный пигмент может изменять цветовые характеристики [8], поэтому имеют значение характеристики не пигмента, а только конечного изделия. Кроме того, следует отличать пигменты высокотемпературного синтеза от пигментов, изготовленных нанесением красящих компонентов на нейтральные частицы носителя [9].

Исходя из вышеизложенного необходимо принять ряд допущений, основанных на физиологии восприятия цвета человеком, на теории цвета и на химии высокотемпературных процессов:

– воспринимаемый цвет является результатом сложения световых потоков от множества точек, имеющих различные цветовые характеристики;

– частицы пигментов следует рассматривать как независимые друг от друга источники отраженного света с индивидуальными цветовыми характеристиками;

– для описания цветовых характеристик образцов можно использовать цифровые методы получения и обработки изображений;

– приготовление образца, в том числе температурная обработка, не приводит к разрушению частиц пигмента, но может изменять его цветовые характеристики, при этом одинаковое приготовление образца всегда

Таблица 2

Численные значения цветовых функций образцов при одинаковой концентрации базовых пигментов 5 мас. %

Название пигмента	С	М	Y	К	CN	MN	YN
PR	1	54	32	0	1,1	62,1	36,8
PG	19	0	17	0	52,8	0	47,2
PB	100	95	1	0	51	48,5	0,5
PC	38	0	2	0	95	0	5
PM	7	26	6	0	17,9	66,7	15,4
PY	4	0	42	0	8,7	0	91,3
PK	68	56	42	18	41	33,7	25,3

приводит к одинаковым конечным характеристикам каждого пигмента.

Целью данного исследования стало придание обжиговому изделию – пеностеклянному блоку – заданного цвета при использовании ограниченного набора пигментов.

Получение прессованных сырьевых блоков и процесс их дальнейшей термообработки описаны ранее [10]. Обжиг всех образцов осуществлялся в муфельной печи при температуре 740°C в течение 1 ч.

Для придания образцам цветовых характеристик использовали керамические пигменты. Были выбраны пигменты, по визуальным цветовым характеристикам наиболее приближенные к базовым цветам модели RGB и СМУК. В дальнейшем эти пигменты обозначаются соответственно PR (красный), PG (зеленый), PB (синий), PC (сине-зеленый), PM (пурпурный), PY (желтый) и PK (черный). В качестве инструмента получения изображения применялась стандартная цифровая камера, встроенная в iPhone 4. Анализ цветовых характеристик образцов проводили с помощью программы AdobePhotoshop.

Исходя из предположения о постоянстве цветовой характеристики каждого пигмента вне зависимости от его концентрации в изделии и возможности получения любого цвета из трех базовых цветов цветовые характеристики и интенсивность цвета разделены по различным координатным осям. В модели СМУК цвет определяется соотношением численных значений функций С, М и Y, т. е. для любого конкретного цвета i численные значения функций удовлетворяют условию вне зависимости от интенсивности:

$$C_i/M_i = \text{const}_1; \quad (1)$$

$$C_i/Y_i = \text{const}_2; \quad (2)$$

$$M_i/Y_i = \text{const}_3; \quad (3)$$

где C_i , M_i и Y_i – численные значения цветовых функций объекта в модели СМУК.

При указанных допущениях можно утверждать, что нормирование суммы значений функций С, М и Y приведет к сохранению уравнений 1, 2 и 3, но в новых координатах каждый цвет будет определяться однозначно. Переход к новой системе координат для той же точки i рассчитывается по формулам:

$$CN_i = C_i * 100 / (C_i + M_i + Y_i); \quad (4)$$

$$MN_i = M_i * 100 / (C_i + M_i + Y_i); \quad (5)$$

$$YN_i = Y_i * 100 / (C_i + M_i + Y_i); \quad (6)$$



где CN_i , MN_i , и YN_i – численные значения функций цвета i в нормированной цветовой модели. Компонента черного цвета K не является характеристикой собственно цвета, а влияет на интенсивность.

Новая цветовая модель удобна для визуализации и решения задач подбора пигментов для получения требуемых цветов. Удобство визуализации заключается в том, что координаты любого цвета вне зависимости от интенсивности удовлетворяют равенству:

$$CN_i + MN_i + YN_i = 100. \quad (7)$$

В этом случае координаты двух точек однозначно определяют координаты третьей точки в ограниченном диапазоне. Методы изображения таких систем давно разработаны в практике физико-химического анализа, где применяются для описания состава трехкомпонентных систем [11] и диаграмма состояния тройной системы строится в координатах треугольника Гиббса. Поэтому для отображения фигуративных точек цветового состава будем использовать треугольник Гиббса, в котором координаты цветовой точки определяются по вышеописанным формулам 4, 5 и 6.

Как было отмечено выше, на количественные характеристики цветового восприятия влияет не только инструментальное оформление, такое как освещение, условия съемки и вид оборудования, но и подготовка поверхности одного и того же объекта. В табл. 1 приведены цветовые характеристики поверхности и среза образца, не содержащего пигментов, сделанные в различных условиях освещения.

В модели СМΥК значение цветовых функций соответствует световому потоку, отраженному от поверхности и воспринимаемому наблюдателем в определенной части спектра. Можно предположить, что поток света, отраженного от среза ячеистого материала, будет всегда меньше, чем поток света, отраженный от гладкой поверхности того же материала. Это явление подтверждается сравнением значений любых цветовых функций от внешней гладкой поверхности образца со значениями цветовых функций от среза того же образца. Срез ячеистого материала всегда воспринимается визуально темнее, чем его наружная поверхность. Из этого следуют два вывода о методологии поставленной задачи. Во-первых, задачи получения заданного цвета для гладкой наружной поверхности пеностекла и для его среза, например как акустического материала, должны решаться отдельно. Во-вторых, задача придания облицовочному материалу цвета, в точности совпадающего в человеческом восприятии с неким заданным цветом, не имеет решения уже потому, что метод задачи цвета зависит от источника, а воспроизведение цвета полученным мате-

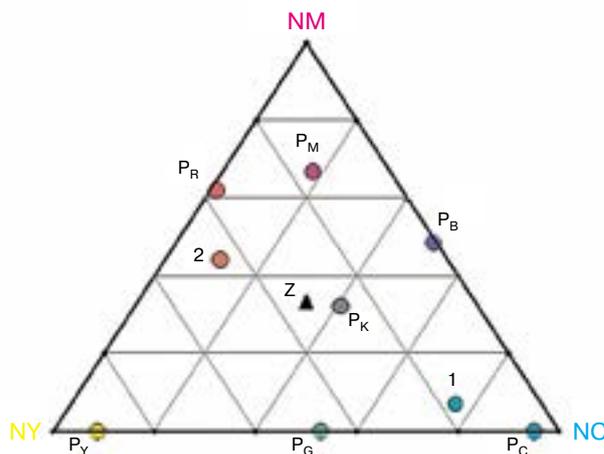


Рис. 3. Расположение фигуративных точек цветов образцов в плоскости цветовой модели NCNMNY в формате треугольника Гиббса. Точки соответствуют окраске пигментов $P_R, P_G, P_B, P_C, P_M, P_Y, P_K$. Z – точка теоретического черного цвета; 1 и 2 – точки заданных цветов

риалом всегда отличается по структуре поверхности от эталона или по методу освещения. Более корректной является задача максимального близкого восприятия человеком полученного цвета к цвету эталона.

Объемное окрашивание ячеистых материалов имеет практическое значение и при изготовлении декоративно-акустических материалов [12, 13], но в рамках поставленной задачи получения облицовочного пеностекла с заданным цветом вариант со срезом материала далее не рассматривается и будет обсуждаться только цвет наружной поверхности образцов.

Другим важным фактором, влияющим на значение воспринимаемого цвета, является источник света. Из данных табл. 1 видно, что в случае использования дневного света и лампы накаливания образец без пигментов, визуально воспринимаемый как белый, при инструментальном анализе демонстрирует достаточно высокие показатели цветности. Единственным источником света, вносящим минимальное количество погрешностей, можно считать встроенную вспышку. Одновременно этот источник можно считать постоянным по спектральному составу и поэтому вносящим постоянную системную ошибку в измерения. Все дальнейшие анализы цветовых характеристик образцов были получены со снимков с источником света в виде встроенной фото-вспышки.

В табл. 2 представлены численные значения цветовых функций в моделях СМΥК и нормированной модели NCNMNY для образцов, полученных с одинаковым содержанием выбранных пигментов, а также фотографии (рис. 1, 2) поверхности блоков калибровочных образцов и их срезов.

Все цвета пигментов соответствуют точкам на цветовой диаграмме, построенной в формате треугольника Гиббса (рис. 3) по цветовой модели NCNMNY, отмечены соответствующими фигуративными точками. Точки для лучшей визуализации окрашены соответствующим цветом. По расположению точек на плоскости треугольника можно сделать некоторые предположения и выводы. По местоположению точки можно судить о характере цвета объекта, соответствующего точке. Наиболее чистые цвета находятся по периметру треугольника, где расположены базовые цвета модели. Чистые цвета S, M и Y расположены в вершинах треугольника, и по ним, как базовым точкам, происходит построение всей модели. Чистые цвета модели RGB расположены на середине сторон треугольника. Поэтому все наиболее чистые цвета расположены на периметре треугольника или

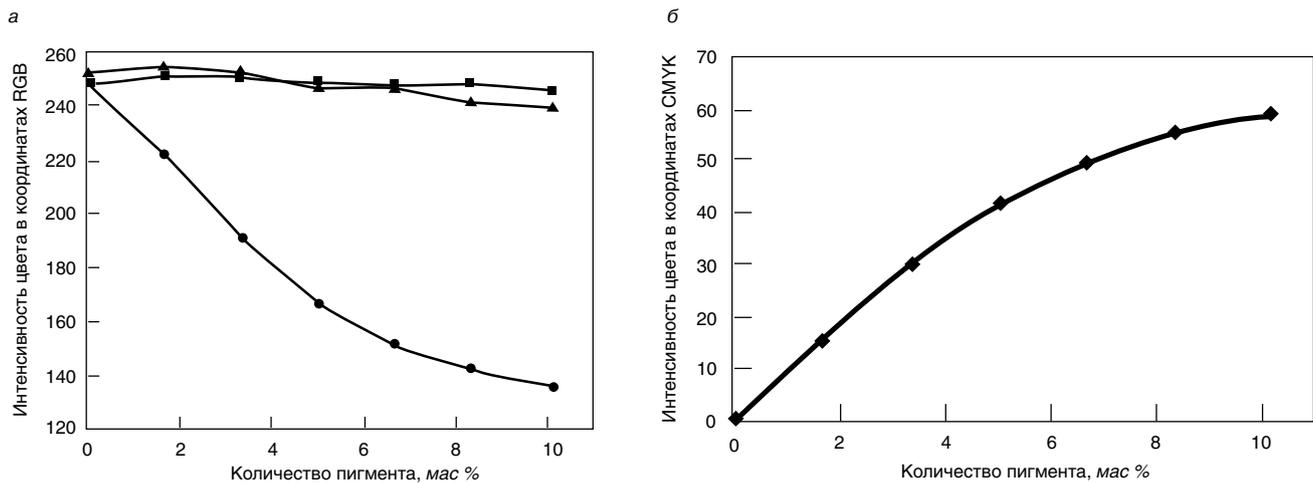


Рис. 4. Зависимость значений цветковых функций от концентрации желтого пигмента в композиции в цветовой модели: а – RGB; б – CMYK

близко к нему и получают смешением двух чистых цветов. Если в получении цвета участвует цвет с местоположением соответствующей точки не на периметре треугольника, то результирующий цвет становится грязным, переходя в центре треугольника в область серого и черного цветов, где отдельные цветковые составляющие становятся неразличимыми. Предельным случаем является координата центра треугольника, соответствующая черному цвету, в котором нельзя выделить цветковых составляющих для координаты точки Z:

$$CN_Z = MN_Z = YN_Z = 100/3. \quad (7)$$

Точка, соответствующая цвету реального черного пигмента (точка PN), близка к этой точке, но не соответствует ей. Это объясняется тем, что незначительное превышение синей составляющей в цвете реального пигмента фиксируется аппаратно, но уже не воспринимается визуально.

Можно предположить, что рост концентрации пигмента в образце будет пропорционально увеличивать количество отраженного света, с цветовыми характеристиками и соотношением цветковых потоков C, M и Y, характерными для данного пигмента. В то же время цветковые координаты данного пигмента в модели NCNMNY будут оставаться постоянными вне зависимости от концентрации пигмента.

Для проверки этого предположения была приготовлена серия образцов с различной концентрацией желтого пигмента PY (рис. 4). Можно утверждать, что при невысоком содержании пигмента в исходной композиции изменение цветковых характеристик происходит линейно до концентрации пигмента примерно 5–6 мас. %.

Координаты точки в модели NCNMNY действительно изменяются незначительно, и эти изменения сложно показать на рис. 3 при помощи перемещения фигуративной точки, но изменение интенсивности цвета хорошо фиксируется в координатах цветковых моделей RGB и CMYK (рис. 4).

Если в области высоких концентраций пигмента изменение значений цветковых функций незначительно, то для низких концентраций происходит существенное изменение соотношения доли базовых цветов и фигуративная точка в координатах NCNMNY начинает смещаться в сторону «примесных» цветов. Исходя из данных рис. 5 можно видеть, что наибольшее влияние примесных цветов ощущается при низких концентрациях пигмента.

Полученные результаты позволяют строить калибровочные графики интенсивности цвета в образцах для

каждого пигмента и прогнозировать цветковые характеристики получаемых образцов для средних концентраций пигмента. В области низких концентраций пигмента происходит слабое смещение цветковых характеристик в сторону примесных цветов. При высокой концентрации пигментов и переходе зависимости в нелинейную область можно проводить несколько итерационных шагов, заключающихся в приготовлении образцов и контроле полученных результатов с постепенным приближением к заданным цветковым характеристикам. Приведенные данные позволяют предложить методику для придания изделию цвета, максимально приближенного к заранее заданному.

Для примера были выбраны цвета, использованные в оформлении обложек журнала «Строительные материалы». Наиболее простым является случай, когда заданный цвет по своим цветковым характеристикам близок к какому-либо из имеющихся в наличии пигментов. В качестве заданного цвета принята точка на облаке в нижней части обложки журнала «Строительные материалы» № 7, 2016. Фотография фрагмента обложки с расположенным на ней образцом пеностекла полученного цвета представлена на рис. 6. Точка, отмеченная как «1», имеет значения цветковых функций в модели RGB соответственно (170; 215; 229), в модели CMYK – (31; 3; 7; 0) и в NCNMNY – (76; 7; 17). Очевидно, что цвет образца пеностекла, помещенного на обложку, близок к заданному цвету.

При выборе пигмента, пригодного для решения задачи, исходили из того, что местоположение заданной

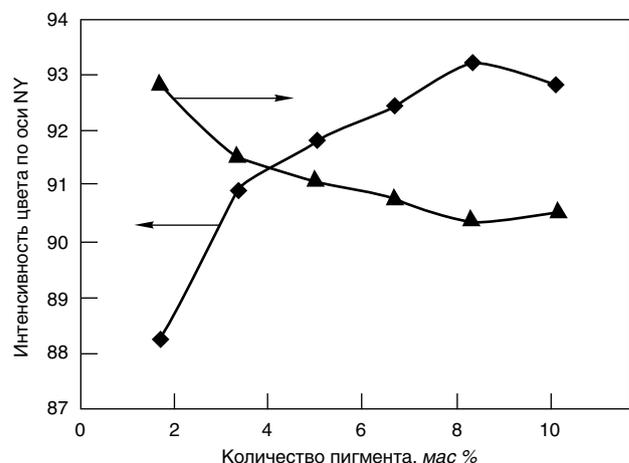


Рис. 5. Зависимость значений цветковых функций NC и NY от концентрации желтого пигмента PY в цветовой модели NCNMNY

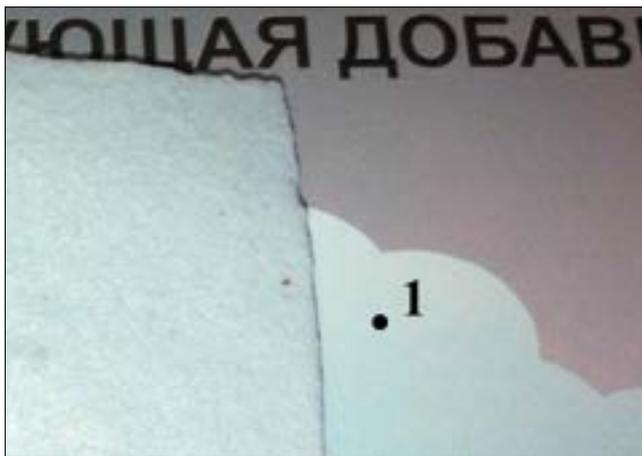


Рис. 6. Фотография фрагмента обложки журнала «Строительные материалы» № 7, 2016 с расположенным на ней образцом пеностекла (слева). Заданным цветом являлся цвет точки 1

точки в модели NCMCNY на рис. 4 близко к положению точки, соответствующей пигменту РС, а невысокая интенсивность цвета позволила допустить, что при невысоких концентрациях пигмента произойдет смещение фигуративной точки цветовых характеристик в сторону преобладания примесных цветов. Это и произошло на практике после построения концентрационных зависимостей цветовых характеристик.

Более сложной с практической точки зрения является задача получения заданных цветовых характеристик при высокой интенсивности цветов и при расположении фигуративной точки цвета на удалении от фигуративных точек, соответствующих цветам чистых пигментов. В этом случае было предложено решать задачу в два этапа. На первом этапе находить соотношение ближайших пигментов, при котором соотношение значений двух преобладающих для точки цветовых функций в модели NCMCNY будет соответствовать такому же соотношению для заданного цвета. На втором этапе путем изменения количества пигментов в образце и неизменном их отношении подбирается наиболее подходящая интенсивность полученного цвета.

В этом случае для примера был выбран цвет фона заголовка журнала в № 8, 2016. Визуально цвет можно охарактеризовать как бордовый. Точка, соответствующая этому цвету в модели NCMCNY, обозначена на рис. 3 как точка «2». Численные значения цветовых функций составляют в модели RGB (160; 33; 24) в СМУК (25; 98; 100; 20) и в NCMCNY (11; 44; 45). Из расположения фигуративной точки можно предложить для придания изделию такого цвета использовать ближайшие пигменты – P_R и P_Y . Массовое соотношение пигментов для получения требуемого цвета равно $m_{PR}/m_{PY}=2,11$. После приготовления ряда образцов с требуемым соотношением пигментов была построена и проанализирована полученная палитра на предмет соответствия цветов заданному. В результате этих действий удалось изготовить образец пеностекла, макси-

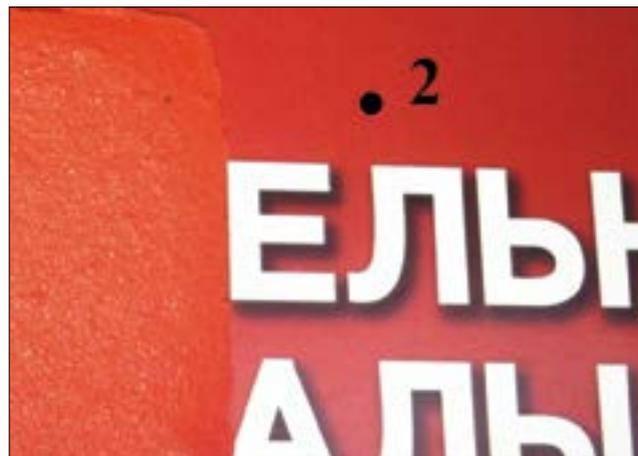


Рис. 7. Фотография фрагмента обложки журнала «Строительные материалы» № 8, 2016 с расположенным на ней образцом пеностекла (слева). Заданным цветом являлся цвет точки 2

мально приближенный по цветовым характеристикам к требуемому (рис. 7).

Можно считать, что и в этом случае достигнуто допустимое для облицовочных строительных материалов приближение цвета к заданному.

Представленное исследование позволяет сделать ряд выводов о применении пигментов для окраски в массе силикатных материалов, получаемых при термической обработке (ячеистых стеклокристаллических материалов).

1. Для придания обжиговым материалам базового белого цвета требуемой окраски с приемлемыми для строительных материалов отклонениями цвета допустимо применять общедоступные средства измерения и обработки цветовых характеристик.

2. Отраженный свет от точек монохроматического цвета, может быть заменен на смесь нескольких точек с отличающимися цветовыми характеристиками. При этом физиологическое восприятие получаемого цвета от этих двух источников будет одинаковым. Это означает, что для придания любой окраски материалам необходимо и достаточно двух пигментов, максимально приближенных по цветовым характеристикам к требуемому цвету.

3. Охват всей возможной палитры цветов для производимых строительных изделий возможен при минимальном количестве базовых пигментов, равном трем. Численные значения цветовых функций базовых пигментов должны быть максимально равноудаленными на цветовой плоскости. Для улучшения цветопередачи получаемых изделий возможно использование дополнительных пигментов, цветовые характеристики которых расположены по возможности равноудаленно от координат ближайших базовых пигментов.

4. Нормирование цветовой модели СМУК позволяет разделить характеристики цвета и интенсивности, что удобно для визуализации в формате треугольника Гиббса задачи получения материала заданной окраски.

Список литературы

1. Кетов А.А. Перспективы пеностекла в жилищном строительстве // *Строительные материалы*. 2016. № 3. С. 79–81.
2. Масленникова Г.Н., Пищ И.В. *Керамические пигменты*. М.: Стройматериалы, 2009. 224 с.
3. Платов Ю.Т., Платова Р.А. Инструментальная спецификация цветовых характеристик строительных материалов // *Строительные материалы*. 2013. № 4. С. 66–72.

References

1. Ketov A.A. Prospects of Foam Glass in Housing Construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 3, pp. 79–81. (In Russian).
2. Maslennikova G.N., Pishch I.V. *Keramicheskie pigmenty* [Ceramic pigments]. Moscow: Stroymaterialy. 2009. 224 p.
3. Platon Yu.T., Platova R.A. Instrumental specification of chromatic characteristics of structural materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 4, pp. 66–72. (In Russian).

4. Бертулис А.В., Глезер В.Д. Пространственное цветовое зрение. Л.: Наука, 1990. 145 с.
5. Хьюбелл Д. Глаз, мозг, зрение. М.: Мир, 1990. 239 с.
6. Платов Ю.Т., Платова Р.А., Сорокин Д.А. Колориметрическая идентификация фарфора по виду материала // *Стекло и керамика*. 2009. № 4. С. 10–13.
7. Платова Р.А., Кондрукевич А.А., Платов Ю.Т. Применение оксида неодима для повышения белизны фарфора // *Стекло и керамика*. 2011. № 12. С. 11–16.
8. Кузнецова Г.В., Морозова Н.Н. Пигменты и объемное окрашивание // *Строительные материалы*. 2016. № 12. С. 14–17.
9. Дугуев С.В., Иванова В.Б., Сатвалдинов К.Ж. Практические аспекты импортозамещения пигментирующих материалов в строительной отрасли России // *Строительные материалы*. 2015. № 6. С. 61–64.
10. Vaisman I., Ketov A., Ketov I. Cellular glass obtained from non-powder preforms by foaming with steam // *Ceramics International*. 2016. № 42. P. 15261–15268.
11. Аносов В.Я., Озерова М.И., Фиалков Ю.Я. Основы физико-химического анализа. М.: Наука, 1976. 504 с.
12. Вайсера С.С., Пучка О.В., Лесовик В.С., Бессонов И.В., Сергеев С.В. Эффективные акустические стеклокомпозиты // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 28–31.
13. Володченко В.Н., Лесовик В.С. Перспективы расширения номенклатуры силикатных материалов автоклавного твердения // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 34–37.
4. Bertulis A.V., Glezer V.D. Prostranstvennoe tsvetovoe zrenie [Space color vision]. Leningrad: Nauka. 1990. 145 p.
5. Hubel D.H. Glaz, mozg, zrenie [Eye, Brain and Vision]. Moscow: Mir. 1990. 239 p.
6. Platov Yu.T., Platova R.A., Sorokin D.A. Colorimetric identification of porcelain by the form material. *Glass and Ceramics*. 2009. No. 4, pp. 10–13. (In Russian).
7. Platova R.A., Kondrukevich A.A., Platov Y.T. Application of Neodymium Oxide to Increase the Whiteness of Porcelain. *Glass and Ceramics*. 2011. No. 12, pp. 393–398. (In Russian).
8. Kuznetsova G.V., Morozova N.N. Pigments and volume coloring. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 12, pp. 14–17. (In Russian).
9. Duguev S.V., Ivanova V.B., Satvaldinov K.Zh. Practical aspects of import substitution of the pigmenting materials in structural branch of Russia. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 6, pp. 61–64. (In Russian).
10. Vaisman I., Ketov A., Ketov I. Cellular glass obtained from non-powder preforms by foaming with steam. *Ceramics International*. 2016. No. 42, pp. 15261–15268.
11. Anosov V.Ya., Ozerova M.I., Fialkov Yu.Ya. Osnovy fiziko-khimicheskogo analiza [Bases of the physical and chemical analysis]. Moscow: Nauka. 1976. 504 p.
12. Vaisera S.S., Puchka O.V., Lesovik V.S., Bessonov I.V., Sergeev S.V. Efficient Acoustic Glass Composites. *Stroitel'nye Materialy*. [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 28–31. (In Russian).
13. Volodchenko V.N., Lesovik V.S. Prospects of extension of the nomenclature of silicate materials of autoclave concreting. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 9, pp. 34–37. (In Russian).

СТРОЙ ЭКСПО КРЫМ | VIII ВЫСТАВКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО АРХИТЕКТУРА ТЕХНОЛОГИИ

20–22 ОКТЯБРЯ

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ:

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

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

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

Официальная поддержка:

И.Ф. ШЛЕГЕЛЬ, канд. техн. наук, директор (info@inta.ru)

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

О рациональном применении клинкерного кирпича

I.F. SHLEGEL, Candidate of Sciences (Engineering) (info@inta.ru)
Institute of New Technologies and Automation of Building Materials Industry (ООО «INTA-STORY»)
(100, 1st Putevaya Street, 644113, Omsk, Russian Federation)

On the Rational Use of Clinker Bricks

Керамический клинкер является прекрасным материалом, проверенным более чем столетней эксплуатацией. Его низкая истираемость и высокая морозостойкость гарантируют долговечность. Парковые площадки и тропинки, вымощенные клинкерным кирпичом, длительно сохраняют высокие эксплуатационные характеристики и со временем выглядят даже привлекательнее. Но, по моему мнению, клинкерный кирпич необходимо использовать именно в качестве материала для мощения дорог и тротуаров.

Использование же клинкера для возведения стен считаю нерациональным по следующим причинам.

В рекламе керамического клинкера отмечают его суперсвойства по сравнению с кирпичом. Возникают вопросы: а нужны ли эти суперсвойства обычному массовому покупателю? Нужна ли запредельная прочность и морозостойкость? Пока на отечественном рынке стройматериалов не было высококачественного облицовочного кирпича, привозной клинкер был элитным материалом, гарантировал красивую долговечную кладку лицевого слоя. В настоящее время рынок насыщен разнообразными качественными облицовочными керамическими материалами широкой цветовой гаммы и различного размера. В этой ситуации клинкерный кирпич как стеновой материал теряет прежнюю привлекательность.

Вековой опыт кирпичного строительства говорит о том, что прочности и морозостойкости обычного кирпича достаточно для возведения уникальных и долговечных зданий. Специалисты, подрядчики и потребители постоянно ведут полемику на различных информационных площадках о преимуществах и недостатках клинкерного кирпича. Причем главным субъективным недостатком называют его цену. Однако **высококачественный** кирпич объективно должен стоить дороже обычного. Обратим внимание на другие недостатки, возможно, еще не известные широкому кругу потребителей.

Уже есть случаи, когда строители (каменщики) отговаривают заказчиков покупать клинкер или же просто отказываются от работы с ним. Разберемся, почему это происходит:

1) Из-за высокой плотности клинкер тяжелее в 1,5 раза, чем обычный кирпич, следовательно, с ним тяжелее работать.

2) Требуется более высокая квалификация каменщиков и строгое соблюдение технологии укладки.

3) Клинкер нельзя укладывать на раствор, необходимы специальные клеевые составы.

4) Из-за низкого водопоглощения (клинкер не впитывает «цементное молочко») возникают трудности укладки.

5) Существенно замедляется выведение влаги изнутри стены в силу низкой влагонепроводности клинкера.

6) Увеличивается срок строительства, так как из-за низкой пористости клинкера каждому ряду требуется больше времени для набора монтажной прочности.

Конечно, эти недостатки в некоторой степени можно компенсировать путем повышенной оплаты каменщикам. Но есть недостатки клинкера, обусловленные его достоинствами, о которых застройщики не знают или не придают им должного значения, выбирая клинкерный кирпич в качестве облицовочного стенового материала.

Американская градация комфортности жилья предусматривает 20 категорий в зависимости от используемого стенового материала. Кирпич в этой «табели о рангах» занимает 2–3-е места сразу после дерева. Стены из комфортных материалов «дышат», т. е. вносят существенный вклад в необходимый воздухообмен жилища. Применяя клинкерный кирпич с низкой паропроницаемостью, застройщик непроизвольно опускает уровень комфортности кирпичного дома до возведенного из плотного бетона. Применение мощной вентиляции позволяет решить проблему лишь частично, дискомфорт сохраняется.

Кроме того, клинкер обладает повышенной звуко- и теплопроводностью. Наивными выглядят некоторые рекламные материалы, в которых клинкер называют теплоэффективным материалом из-за наличия пустот, что абсолютно неправомерно. Известно, что теплопроводность клинкера в два раза выше, чем обычного кирпича.

Главное декларируемое преимущество — долговечность стен, облицованных клинкером, также может обернуться недостатком. Бесспорно, клинкерный кирпич сам по себе является долговечным материалом, но в конструкции однослойной стены способствует образованию конденсата между основной стеной и слоем клинкера. Многократное замерзание и оттаивание конденсата в процессе эксплуатации может привести к разрушению стены, облицованной клинкером. Решение проблемы, конечно, есть. Это традиционная кладка с вентилируемым зазором между слоем клинкера и основной стеной, но такая «кирпичная» стена будет проигрывать отработанным и широко распространенным системам навесных фасадов, в том числе с использованием клинкерной плитки, производство которой также налажено в России.

Если однослойные кирпичные стены проверены веками, то опыта долговременной эксплуатации комбинированных, облицованных клинкером стен в условиях России нет. Поэтому долговечность таких зданий еще необходимо доказать путем специальных длительных научных исследований.

В заключение отметим, что технический прогресс и связанное с ним увеличение потребления невозобновляемых природных ресурсов вызывает тревогу у многих ученых мира. А для изготовления клинкера требуются дефицитные добавки беложгущихся глин и плавней, для его обжига расходуется больше топлива. Оправданно ли транжирить ресурсы там, где можно их сэкономить?

Как же так получилось, что клинкер «пробрался» в стеновые материалы, хотя ему место на тротуарах? Никогда в ГОСТах ранних сроков издания, как и в стандартах других стран, клинкер не причислялся к стеновым материалам. Для клинкера предусмотрены отдельные стандарты.

Однако в преамбуле ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камни керамические» об области его применения записано: «...а также клинкерный кирпич, применяемый для кладки фундаментов, сводов, стен, подверженных большой нагрузке...» А где критерии этой «большой нагрузки»? И для каких стен целесообразно применять клинкер? Так за счет расплывчатой формулировки в стандарт «втёрли» клинкерный кирпич.

По мнению автора, ГОСТ 530–2012 – самый возмутительный нормативный документ в нашей отрасли, принятый кулуарно, без широкого обсуждения.

Ассоциация производителей керамических стеновых материалов своим письмом от 27 декабря 2012 г. обратила внимание, «что при работе над актуализацией важнейшего для керамической отрасли ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камни керамические» были проигнорированы обязательные в таких случаях процедуры согласования версий разрабатываемого документа с технологами и научно-инженерным составом действующих керамических производств в странах СНГ.

Данное обстоятельство привело к подписанию документа, содержащего целый ряд неточностей и ошибок, не позволяющих трактовать однозначно требования ГОСТа и обеспечить нормальное функционирование керамических заводов и их испытательных лабораторий стран СНГ.

Республика Беларусь отказалась согласовывать этот документ.

Несколько лет работы в рамках данного нормативного документа на практике выявили недостатки. В настоящее время назрела необходимость его актуализации. При этом разработчики должны предусматривать достаточное количество времени для обсуждения новой редакции, а также необходимо рассматривать все предложения коллективно, используя все доступные площадки: интернет-ресурсы, периодические издания, отраслевые конференции.

Оборудование для кирпичных заводов

ООО «ТД «Инта-Строй»

*644113, г. Омск, ул. 1-я Путевая, д. 100
Тел. (3812) 356-544, 356-545 www.inta.ru*

г. Веймар
(Германия)



12–14 сентября
2018 г.

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

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

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

Основные темы конгресса

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

Официальные языки конференции – немецкий, английский

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

Подробности вы найдете на сайте: www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de

www.ibausil.de



ООО «Ас-Тик КП»



ПОСТАВКА ПОЛИМЕРНЫХ ПРОТИВОНАЛИПАЮЩИХ
ФУТЕРОВОЧНЫХ ПЛАСТИН – ППФП-АСТИКИ
ДЛЯ ЭКСКАВАТОРНОГО, ТРАНСПОРТНОГО И
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



ООО «Ас-Тик КП» – «ЛИДЕР ОТРАСЛИ 2014 г.»

Национальный сертификат Л10.9N20/14209 за высокий вклад в развитие российской экономики, добросовестную уплату налогов, достижение высоких экономических показателей в отраслевом рейтинге по ОКВЭД 25.24.9 «Предоставление услуг в области производства пластмассовых деталей».



Проблема налипания материала на рабочие поверхности оборудования решена!

Противоналипающие полимерные футеровочные пластины ППФП-Астики – эффективное средство борьбы с налипанием различных материалов на рабочие поверхности экскаваторного, транспортного и технологического оборудования.

ППФП-Астики обладают:

- ◆ низким коэффициентом трения;
- ◆ высокой гидрофобностью, износостойкостью, ударпрочностью, химической стойкостью;
- ◆ широким температурным диапазоном эксплуатации.

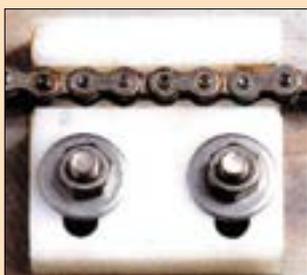


ППФП-Астики выпускаются по ТУ-2246-001-22711279–2008 различных размеров, технологичны, надежны в эксплуатации.

Эффективность ППФП-Астики подтверждается долговременной успешной эксплуатацией в качестве облицовки рабочих поверхностей различного технологического оборудования.



ООО «Ас-Тик КП» осуществляет на договорных условиях выпуск и поставки ППФП-Астики различной износостойкости и долговечности, оказывает необходимые консультации, связанные с выбором ППФП-Астики для конкретных условий эксплуатации экскаваторного, транспортного и технологического оборудования и их эффективным внедрением в производство, а также совместно с заводами металлоконструкций производит в заводских условиях выпуск новых бункеров, оборудованных ППФП-Астикой.



ООО «Ас-Тик КП»

Тел./Факс: (495) 718-48-12 E-mail: astik_kp@mail.ru; ppfp_astiki@mail.ru

УДК 667.632

В.Г. КУЗНЕЦОВ, президент, генеральный директор (ppfp_astiki@mail.ru),
И.П. КУЗНЕЦОВ, коммерческий директор (astik_kp@mail.ru)
ООО «Ас-Тик КП» (109004, г. Москва, Тетеринский пер., 16)

К вопросу надежного и эффективного использования ППФП-Астики на оборудовании, работающем на увлажненных материалах

Эффективность действия ППФП-Астики зависит от правильного их подбора к конкретным горно-геологическим и горно-техническим условиям эксплуатации оборудования. В этой связи на предприятие, желающее приобрести противоналипающие пластины, направляется для заполнения опросный лист. Далее на основании опросного листа оценивается крепость материалов по шкале проф. М.М. Протодияконова и производится подбор сырья для выпуска нужного вида противоналипающей пластины, а по методике ООО «Ас-Тик КП» определяется ее толщина с целью обеспечения гарантийного срока службы после ввода в эксплуатацию. Такой принцип подбора ППФП-Астики и определение оптимальной толщины пластины позволяют надежно и эффективно решать задачи, связанные с устранением налипания увлажненных материалов на рабочие поверхности оборудования.

Ключевые слова: ППФП-Астики, налипание материала, противоналипающие пластины, коэффициент крепости материала, условия эксплуатации.

Для цитирования: Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. К вопросу надежного и эффективного использования ППФП-Астики на оборудовании, работающем на увлажненных материалах // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 45–48.

V.G. KUZNETSOV, President, General Director (ppfp_astiki@mail.ru), I.P. KUZNETSOV, Commercial Director (astik_kp@mail.ru)
ООО «As-Tik KP» (16, Teterinsky Lane, Moscow, 109004, Russian Federation)

To the Issue of Reliable and Efficient Application of PFPF-Astiki at Equipment Operating with Damp Materials

The efficiency of PFPF-Astiki depends on their proper selection to specific mining-geological and mining-engineering conditions of operation of the equipment. In this connection, the questionnaire for fill in is sent to the enterprise desiring to get anti-sticking plates. Further, on the basis of the questionnaire, the strength of materials is evaluated according to the scale of professor M.M. Protodiakonov and the selection of raw materials for producing the required type of an anti-sticking plate is made, and according to the methodology of ООО «As-Tik KP», its thickness is determined for providing the warranty period of work after putting it into operation. This principle of selection of PFPF-Astiki and determination of the plate optimal thickness make it possible to solve reliably and efficiently the problems relating to the elimination of sticking of wetted materials on the working surfaces of the equipment.

Keywords: PFPF-Astiki, sticking of material, anti-sticking plates, coefficient of strength of material, operational conditions.

For citation: Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. To the issue of reliable and efficient application of pfpf-astiki at equipment operating with damp materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 45–48. (In Russian).

На основании опыта широкого внедрения и длительной эксплуатации полимерных противоналипающих футеровочных пластин Астики (ППФП-Астики) на предприятиях основных горнодобывающих и пере-

рабатывающих отраслей промышленности России и государств СНГ специалистами ООО «Ас-Тик КП» рекомендуются следующие области их применения (рис. 1).

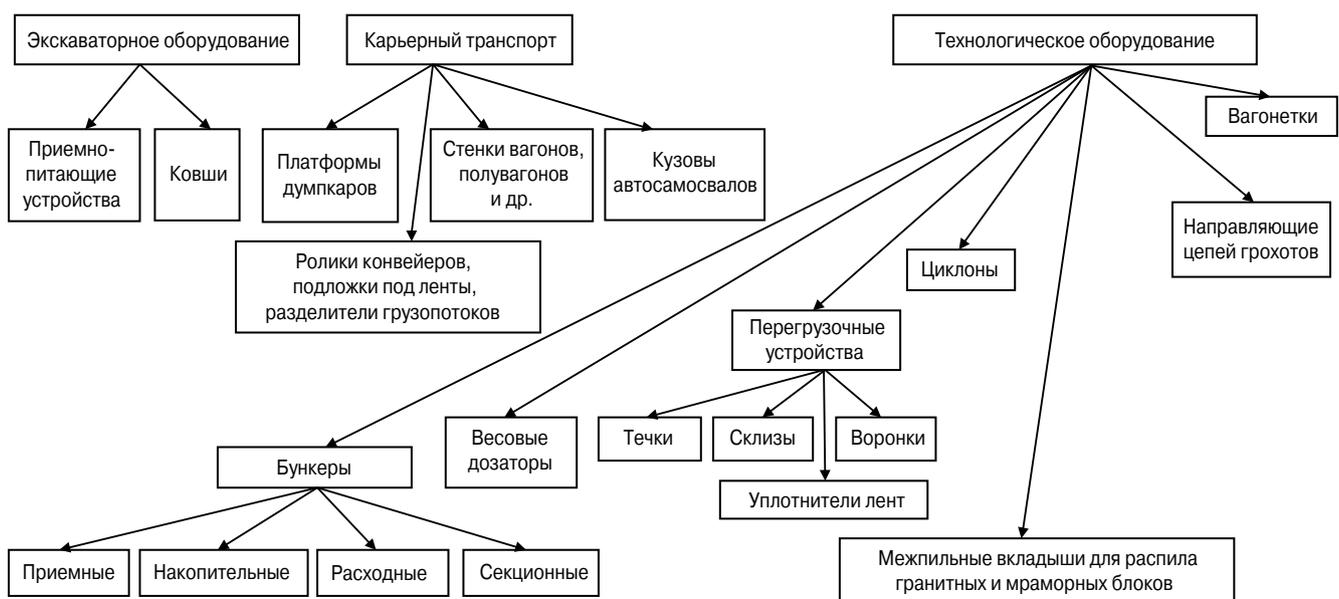


Рис. 1. Схема рекомендуемых областей применения ППФП-Астики

Таблица 1

Показатель	Единица измерения	Величина показателя
Краевой угол смачивания	Град.	85–90
Липкость глинистого сырья: – к металлу – к ППФП-Астики	КПа КПа	25 4
Коэффициент трения ППФП-Астики по стали		0,1–0,15
Коэффициент внешнего трения: – мело-мергельные породы: по стали по ППФП-Астики – песок: по стали по ППФП-Астики – щебень: по стали по ППФП-Астики – уголь каменный: по стали по ППФП-Астики		0,7–0,77 0,32–0,55 0,32–0,8 0,17–0,3 0,47–0,73 0,15–0,45 0,29–0,84 0,16–0,52

В табл. 1 приводятся справочные, по данным ООО «Ас-Тик КП», основные гидрофобные (противоналипающие) и фрикционные свойства ППФП-Астики [1].

Эффективность действия ППФП-Астики зависит от правильного их подбора к конкретным горно-геологическим и горно-техническим условиям эксплуатации технологического оборудования. Это связано с тем, что горно-геологические и климатические условия большинства карьеров и разрезов существенно отличаются между собой. Разрабатываемые горные породы имеют различные коэффициенты крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова (от 1 до 18 единиц), по кусковатости (до 500 мм и более), по влажности (до 30% и более), по плотности в целике (от 1000 до 3000 кг/м³ и более), по интервалу рабочей температуры (от -40 до +40°C и более). Отличны и условия самого технологического оборудования, основными из которых являются следующие: производительность, высота погрузки потока горной массы, скорость и угол ее атаки (взаимодействие с рабочей поверхностью). Сами ППФП-Астики также имеют существенные отличия по таким важнейшим эксплуатационным показателям, как износостойкость и ударпрочность.

Неправильно подобранные и смонтированные на рабочих поверхностях ППФП-Астики могут явиться причиной их быстрого износа и разрушения, в результате чего образуется волокнистость полимера, которая резко ухудшает его гидрофобные (противоналипающие) свойства. В этой связи на предприятие, желающее приобрести противоналипающие пластины, направляется опросный лист (рис. 2).

На основании полученного опросного листа по табл. 2 оценивается коэффициент крепости материалов / по шкале проф. М.М. Протодяконова, а по табл. 3 производится соответствующий подбор сырья для выпуска того или иного вида ППФП-Астика [2].

Для эффективной и надежной работы оборудования также важно правильно определить толщину пластины

ООО «Ас-Тик КП» Россия, 109004, г. Москва, Тетеринский пер., 16 Тел/факс: (495) 718-48-12. E-mail: astik_kp@mail.ru	
Типовая форма опросного листа для выпуска по ТУ 2246-001-22711279–2008 необходимых ППФП-Астики с целью установки их на стенках перегрузочных устройств, бункеров, течек, склизов, весовых дозаторов, загрузочных устройств конвейерных лент и т. д.	
1. Название оборудования, где предполагается использование ППФП-Астики	
2. Характеристики и название горной массы (сырья, породы, материалов), контактирующей с рабочей поверхностью оборудования	
2.1	крепость по шкале проф. М.М. Протодяконова, единицы
2.2	средняя плотность в целике и насыпная, кг/м ³
2.3	гранулометрический состав и максимальный кусок (крупность), мм
2.4	влажность, %
2.5	наличие в потоке остроконечных скальных и валуновых включений, %
2.5	интервал рабочей температуры, °С
3. Характеристики оборудования, где предполагается использование ППФП-Астики	
3.1	схема общего вида с геометрическими размерами оборудования, в том числе с указанием материала поверхности контакта и толщины рабочей стенки, где предполагается установка ППФП-Астики, мм
3.2	количество м ² поверхности, предполагаемой для футеровки
3.3	высота падения потока горной массы от максимальной точки его сбрасывания до точки соприкосновения с рабочей поверхностью оборудования
3.4	способ загрузки горной массы в оборудование (при помощи ковша экскаватора, транспортера, погрузчика и др.)
3.5	емкость ковша, м ³
3.6	скорость ленты конвейера, м/с
3.7	ширина ленты конвейера, мм
3.8	угол наклона конвейера, град
3.9	ширина перегрузочной воронки и приемного бункера, мм
3.10	тип уплотнителя ленты приемного бункера
3.11	количество горной массы, перегружаемой через оборудование в течение года, м ³
3.12	количество часов чистой работы в течение года, ч
3.13	ориентировочная толщина налипшей горной массы на рабочей стенке оборудования, мм
3.14	продолжительность остановок оборудования в течение года, связанных с расчисткой, ч
3.15	способ существующей расчистки оборудования от налипшей горной массы
3.16	периодичность (плановая) ремонта оборудования в течение года, ч

Рис. 2. Типовой опросный лист

Таблица 2

Категория	Степень крепости	Порода	Коэффициент крепости, f
I	В высшей степени крепкие	Наиболее крепкие, плотные и вязкие кварциты и базальты. Исключительные по крепости другие породы	20
II	Очень крепкие	Очень крепкие гранитовые породы. Кварцевый порфир, очень крепкий гранит, кремнистый сланец. Менее крепкие, нежели указанные выше кварциты. Самые крепкие песчаники и известняки	15
III	Крепкие	Гранит (плотный) и гранитовые породы. Очень крепкие песчаники и известняки. Кварцевые рудные жилы. Крепкий конгломерат. Очень крепкие железные руды	10
IIIa	Крепкие	Известняки (крепкие). Некрепкий гранит. Крепкие песчаники. Крепкий мрамор. Доломит. Колчедан	8
IV	Довольно крепкие	Обыкновенный песчаник. Железные руды	6
IVa	Довольно крепкие	Песчанистые сланцы. Сланцевые песчаники	5
V	Средние	Крепкий глинистый сланец. Некрепкий песчаник и известняк, мягкий конгломерат	4
Va	Средние	Разнообразные сланцы (некрепкие), плотный мергель	3
VI	Довольно мягкие	Мягкий сланец. Очень мягкий известняк, мел, каменная соль, гипс. Мерзлый грунт, антрацит. Обыкновенный мергель. Разрушенный песчаник, сцементированные галька и хрящ, каменный грунт	2
VIa	Довольно мягкие	Щебенистый грунт. Разрушенный сланец, слезавшаяся галька и щебень, крепкий каменный уголь. Отвердевшая глина	1,5
VII	Мягкие	Глина (плотная), мягкий каменный уголь, крепкий нанос – глинистый грунт	1
VIIa	Мягкие	Легкая песчанистая глина, лесс, гравий	0,8
VIII	Землистые	Растительная земля, торф, легкий суглинок, сырой песок	0,6
IX	Сыпучие	Песок осыпи, мягкий гравий, насыпная земля, добытый уголь	0,5
X	Плывучие	Плывуны, болотистый грунт, разжиженный лесс, другие разжиженные грунты.	0,3

Таблица 3

Наименование ППФП-Астики	Рекомендуемый коэффициент крепости пород f	Плотность материала (породы) ρ , кг/м ³
ППФП ОИ-Астики (обычного исполнения)	$f < 4$	1000–1800
ППФП ПИУ-Астики (повышенной износостойкости и ударопрочности)	$4 < f \leq 6$	1800–2500
ППФП ВИУ-Астики (высокой износостойкости и ударопрочности)	$6 < f \leq 10$	2500–3200
ППФП СВИУ-Астики (сверхвысокой износостойкости и ударопрочности)	$f \geq 10$	≥ 3200

с целью обеспечения гарантийного срока ее службы после ввода в эксплуатацию. Под сроком службы пластины следует понимать максимальное количество перегруженного материала, в результате воздействия которого образуется сквозной, до металлического основания износ полимерного материала. Толщина t_n противоналипавшей пластины определяется по методике ООО «Ас-Тик КП» [3], а именно:

$$t_n = C \cdot T, \quad (1)$$

где C – срок службы пластины в млн м³ или тыс. т; T – темп изнашивания пластины, показывающий уменьшение ее толщины в миллиметрах при перегрузке одного млн м³ (100 тыс. т) материала.

В результате широких экспериментальных исследований, выполненных специалистами ООО «Ас-Тик КП», установлено, что:

- средний темп T изнашивания ППФП ВИУ-Астики при перегрузке материалов (песок, суглинок, глина различной плотности) составляет 1,6 мм на 1 млн м³ вскрышных пород с максимальной кусковатостью 300–450 мм;
- средний темп T изнашивания ППФП ВИУ-Астики при перегрузке дробленого доломита составляет 1 мм на 100 тыс. т;
- средний темп T изнашивания ППФП ОИ-Астики при перегрузке тонкоизмельченного железорудного концентрата составляет 1 мм на 250 тыс. т;
- средний темп T изнашивания при ударно-абразивном воздействии материала на рабочие поверхности ППФП-Астики в среднем в 2,7 раза выше, чем при чисто абразивном изнашивании.

Если принять износостойкость пластин ППФП ВИУ-Астика за 1 единицу, то сравнительная относительная износостойкость пластин ППФП ОИ-Астика составит 4–5; для пластин ППФП ПИУ-Астика – 2,2 и для пластин ППФП СВИУ-Астика соответственно 0,7–0,8. На основании проектного максимального количества перегруженного материала через конкретный узел оборудования и темпа изнашивания противоналипавших пластин определяется требуемая их толщина с учетом межремонтного цикла [3]. Такой принцип подбора ППФП-Астика и определения ее оптималь-

ной толщины позволяет комплексно и в полной мере использовать все основные горно-геологические характеристики разрабатываемых, перегружаемых и транспортируемых материалов, горнотехнические па-

раметры оборудования, эксплуатационные свойства полимера и эффективно решать в комплексе задачи, связанные с устранением налипания увлажненных материалов [4–11].

Список литературы

1. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кузнецов И.П. и др. Полимерные противоналипающие футеровочные пластины – Астики – эффективное решение проблемы устранения налипания увлажненных материалов на рабочие поверхности оборудования. М.: ООО «Надежда на Ярцевской», 2013. 79 с.
2. Кузнецов В.Г., Затковецкий В.М., Кузнецов И.П. Подбор полимерных противоналипающих футеровочных пластин в зависимости от крепости горной породы // *Строительные материалы*. 2005. № 10. С. 86–87.
3. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. Определение толщины полимерной противоналипающей футеровочной пластины для различных условий эксплуатации оборудования // *Строительные материалы*. 2007. № 5. С. 13–14.
4. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Копылов С.В., Ситников С.Н. и др. Правильный подбор полимерных противоналипающих футеровочных пластин – залог эффективной эксплуатации технологического оборудования // *Горный журнал*. 2008. № 4. С. 80–81.
5. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Копылов С.В. Оценка экономической эффективности внедрения полимерных противоналипающих футеровочных пластин // *Строительные материалы*. 2006. № 9. С. 48.
6. Кузнецов В.Г., Новикова Т.Н., Кузнецов И.П., Кочетов Е.В. Эффективная эксплуатация технологического оборудования на фабрике окомкования ОАО «Михайловский ГОК» при работе на увлажненных сырьевых материалах // *Горный журнал*. 2013. № 12. С. 71–73.
7. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Бородин А.А. и др. Заводской выпуск бункеров, оборудованных эффективным средством борьбы с налипанием материалов – ППФП-Астики // *Строительные материалы*. 2013. № 5. С. 54–56.
8. Кузнецов В.Г., Кочетов Е.В., Кузнецов И.П. Повышение качества рабочих поверхностей технологического оборудования на стадиях проектирования и изготовления за счет применения эффективного средства борьбы с налипанием сырьевых материалов ППФП-Астики // *Механизация строительства*. 2015. № 1. С. 29–31.
9. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П., Ляпунов А.В., Блюденев А.П., Гонтаренко Б.Ю. Применение полимерных материалов для устранения налипания влажного магнетитового концентрата на рабочие поверхности технологического оборудования цеха обогащения АО «ЕВРАЗ КГОК» // *Строительные материалы*. 2016. № 6. С. 59–60.
10. Кузнецов В.Г., Киселев Н.Н., Кочетов Е.В., Кузнецов И.П. Снижение влияния липкости горных пород и сырьевых материалов на работоспособность оборудования за счет применения ППФП-Астики // *Строительные материалы*. 2017. № 1–2. С. 99–103.
11. Кузнецов В.Г., Кузнецов И.П. Уплотнительные устройства из ППФП-Астики приемных бункеров ленточных конвейеров // *Строительные материалы*. 2017. № 5. С. 60–62.

References

1. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kuznetsov I.P. i dr. Polimernye protivonalipayushchie futerovochnye plastyiny – Astiki – effektivnoe reshenie problemy ustraneniya nalipaniya uvlazhnyennykh materialov na rabochie poverkhnosti oborudovaniya [Polymer anti-lamination lining plates – Astiki – an effective solution to the problem of eliminating the sticking of moistened materials on the working surfaces of equipment]. Moscow: ООО «Na-dezhda na Yartsevskoi». 2013. 79 p.
2. Kuznetsov V.G., Zatkovetskii V.M., Kuznetsov I.P. and al. Polymer lining plates – an effective solution to the problem of sticking moistened materials on the working surfaces of process equipment. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2005. No. 5, pp. 32–34. (In Russian).
3. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. Determination of the thickness of the polymer anti-lamination lining plate for various operating conditions of the equipment. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2007. No. 5, pp. 13–14. (In Russian).
4. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Kopylov S.V., Sitnikov S.N. and etc. Correct selection of polymer anti-lamination lining plates is a guarantee of efficient operation of technological equipment. *Gornyi zhurnal*. 2008. No. 4, pp. 80–81. (In Russian).
5. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Kopylov S.V. Estimation of economic efficiency of introduction of polymer anti-lamination lining plates. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2006. No. 9, p. 48. (In Russian).
6. Kuznetsov V.G., Novikova T.N., Kuznetsov I.P., Kochetov E.V. Efficient operation of process equipment in the factory pelletizing JSC «Mikhailovsky GOK» when working on moist raw materials. *Gornyi zhurnal*. 2013. No. 12, pp. 71–73. (In Russian).
7. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Borodin A.A. i dr. factory production of bunkers equipped with efficient means of struggle with adhering of materials – PPFPP-Astiki. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 5, pp. 54–56. (In Russian).
8. Kuznetsov V.G., Kochetov E.V., Kuznetsov I.P. Improvement of quality of working surfaces of technological equipment at the design and manufacturing stages due to the use of an effective means of combating the sticking of raw materials PPFPP-Astiki. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 2015. No. 1, pp. 29–31. (In Russian).
9. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P., Lyapunov A.V., Blyudenov A.P., Gontarenko B.Yu. The use of polymeric materials to eliminate the buildup of wet magnetitic concentrate on work surfaces of equipment on enrichment plant AO «EVRAZ KGOK». *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 6, pp. 59–60. (In Russian).
10. Kuznetsov V.G., Kiselev N.N., Kochetov E.V., Kuznetsov I.P. Reducing the Influence of Stickiness of Rocks and Raw Materials on Working Efficiency of Equipment Due To Application of PPFPP-Astiki. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 1–2, pp. 99–103. (In Russian).
11. Kuznetsov V.G., Kuznetsov I.P. Sealing arrangement made of PPFPP-Astiki for receiving hoppers of belt conveyers. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 5, pp. 60–62. (In Russian).



К 80-летию Александра Владимировича Ушерова-Маршака

10 августа исполнилось 80 лет доктору технических наук, заслуженному деятелю науки и техники Украины, профессору Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры Александру Владимировичу Ушерову-Маршаку.

По окончании института, как все выпускники того времени, А.В. Ушеров-Маршак был распределен на стройку, где получил опыт практической и организационной работы. Однако, в студенческие годы приобщившись к научной деятельности под руководством О.П. Мчедлова-Петросяна, он планировал связать свою дальнейшую жизнь с наукой и вскоре осуществил свою мечту – поступил в аспирантуру, а в 1966 г. защитил кандидатскую диссертацию. В физико-химической лаборатории института Южгипроцемент А.В. Ушеров-Маршак занимался микрокалометрией – высокочувствительным, объективным и информационным методом исследования.

В новом статусе А.В. Ушеров-Маршак вернулся на производство. Но это был уже другой качественный уровень. По его инициативе и при непосредственном участии на одном из крупнейших и технологически продвинутых предприятий СССР – Харьковском ДСК № 1 были организованы научно-производственные лаборатории, на основе разработок которых начато внедрение добавок в технологию ускоренного твердения бетона при ТВО.

С 1976 г. в Харьковском инженерно-строительном институте Александр Владимирович продолжил исследования тепловыделения цемента в бетоне, влияния химических добавок и повышенной температуры на твердение бетона. Он обосновал новое научное направление – термокинетику реакций гидратации и впервые по количественным признакам – скорости и полноте тепловыделения – классифицировал закономерности процессов твердения.

За выдающиеся достижения в области физико-химического анализа неорганических материалов в 1985 г. А.В. Ушерову-Маршаку присуждена премия Академии наук СССР имени Н. Курнакова. В 1986 г. он защитил докторскую диссертацию. В 1994 г. ему присуждена Государственная премия Украины в области науки и техники, в 2007 г. – почетное звание заслуженный инженер России, а в 2017 г. – премия им. И.А. Гришманова, учрежденная Российской инженерной академией.

А.В. Ушеров-Маршак автор более 300 публикаций, 7 монографий, в том числе «Тепловыделение при твердении вяжущих веществ и бетонов» (1984 г.); «Калориметрия цемента и бетона» (2002 г.); «Шлакопортландцемент и бетон» (2004 г.); «Бетонovedение. Современные этюды» (2016 г.) и др.

Долгие годы сотрудничества связывают Александра Владимировича Ушерова-Маршака с редакцией журнала «Строительные материалы»®. Он постоянный автор, научный консультант, строгий, но доброжелательный рецензент. Мы гордимся, что именно нам Александр Владимирович доверил подготовку и издание чрезвычайно актуальной, современной книги «Бетонovedение: лексикон» (2009 г.) – профессионального толкового словаря, ориентированного на формирование понятийно-терминологического аппарата бетонovedения. В нем учтены тенденции международной интеграции науки о бетоне и его технологии. Особенность издания состоит в насыщенности информацией физико- и коллоидно-химического характера в связи с возрастающей ролью этих знаний при обосновании составов, структур, свойств, технологических процессов получения и службы бетона.

Редакция и редакционный совет сердечно поздравляют Александра Владимировича Ушерова-Маршака с 80-летием и желают крепкого здоровья, научного и творческого долголетия, успехов и благополучия.

Предлагаемая вниманию читателей «юбилейная» статья А.В. Ушерова-Маршака, которая ожидаемо могла быть собственным жизнеописанием, посвящена Учителю. В этом весь Александр Владимирович!

К 100-летию со дня рождения
Отара Петровича Мчедлова-Петросяна

А.В. УШЕРОВ-МАРШАК, д-р техн. наук, профессор

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (61000, Украина, г. Харьков, ул. Сумская, 40)

Физико-химическая эпоха строительного материаловедения. Харьковская научно-технологическая школа

To the 100th Anniversary of Otar Petrovich Mchedlov-Petrosyan

A.V. USHEROV-MARSHAK, Doctor of Sciences (Engineering), Professor
Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture (40, Sumska Street, 61000, Kharkiv, Ukraine)

Physico-Chemical Era of Building Materials Science. Kharkiv Scientific-Technological School

*Технологии обусловлены состоянием
знаний и способов достижения цели.
Ст. Лем. «Сумма технологий»*

XXI век – время революционных преобразований в строительной сфере. Ярким примером являются бетоны нового поколения с не ожидаемыми «еще вчера» свойствами, которые легко вписались в парадигму 3D компьютерных технологий. Непременный компонент таких бетонов – высокофункцио-

нальные добавки. Очевидный технологический прогресс и рост наукоемкости бетонovedения достигнуты путем привлечения фундаментальных, междисциплинарных знаний крупных научных центров и школ в разных странах мира.

Более полувека в Харькове функционирует научная школа строительного материаловедения. Ее основатель и многолетний руководитель – материаловед и технолог, ученый с мировым именем Отар Петрович Мчедлов-Петросян. Его юбилей

отмечается 3 октября 2017 г., а 20 лет назад в этот же день своего 80-летия он ушел из жизни.

Юбилейные даты принято сопровождать перечислением трудов, патентов, указанием количества подготовленных юбиляром докторов и кандидатов, заслуженных регалий, наград и др. Но разве не интереснее пройти дорогой научной школы с одним из ее «вечных учеников», автором этого очерка?*

Термодинамическое начало

Это произошло ровно 60 лет назад. Молодой профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы» Харьковского железнодорожного института Отар Петрович Мчедлов-Петросян после зимней сессии предложил студенту третьего курса Александру Ушерову-Маршаку участвовать в студенческом научном кружке и поставил задачу – «оживить» слежавшийся в лаборатории цемент путем его помола в вибромельнице.

Творчески близкий О.П. Мчедлову-Петросяну академик П.А. Ребиндер, основатель теории о поверхностных явлениях в дисперсных системах, считал тогда вибромельницу технологической панацеей. Результаты наших экспериментов по показателям прочности, сроков схватывания, удельной поверхности цементов были ожидаемы. Их трактовку провели с позиций термодинамики, связав рост удельной поверхности цементов (dS) с изменением свободной энергии (dZ).

Попытки привлечь химическую термодинамику к задачам технологии силикатных материалов при изучении природы проявления вязущих свойств на примере серпентинитового цемента были предприняты в докторской диссертации Отара Петровича. Под его руководством В.И. Бабушкиным и Г.М. Матвеевым был создан аппарат термодинамики силикатов, объясняющий физико-химическую суть твердофазных пиросиликатных процессов и реакций гидратации применительно к химии и технологии стройматериалов. Он позволил определять энергетические возможности и направленность силикатообразования в твердых и водных системах на технологических стадиях, при коррозии в агрессивных средах и пр.

Монография «Термодинамика силикатов» неоднократно издавалась в разных странах. Теоретический аппарат распространен на химию и технологии обычных и специальных вяжущих веществ, бетонов, керамики и огнеупоров.

Практикой востребовано

В 1950-е гг. в СССР реализовалась доктрина индустриализации промышленности сборного железобетона и крупнопанельного домостроения. На сотнях новых заводов ЖБИ и домостроительных комбинатов, десятках цементных заводов стали востребованы прорывные научно-технологические решения.

Первые ученики О.П. Мчедлова-Петросяна, идя в этом направлении фи-

зико-химическим путем (А. Бунаков, Ю. Воробьев), сформулировали принцип соответствия параметров – момента, интенсивности и длительности приложения тепловых, механических, химических и комплексных воздействий термодинамическим и кинетическим характеристикам твердения цементов и бетонов.

На кафедре были созданы специальные приборы, исследованы сырьевые компоненты цемента, бетона и керамики. Был изготовлен первый в отрасли прибор термического анализа – пирометр Курнакова. Освоены пластометр Ребиндера и анализатор тепловыделения. В производстве востребованы идеи О.П. Мчедлова-Петросяна об изменении глин при обжиге, кристаллохимии модификаций гипса и др. Автор, тогда студент-старшекурсник, участвует во всем происходящем, «дышит» физико-химической атмосферой кафедры.

Из разработок того периода выделяются исследования процессов твердения во взаимосвязи с условиями образования и устойчивости гидратных фаз (А. Говоров), коррозии (В. Бабушкин), электрохимической активации (М. Степаненко), тепловыделения (Н. Левчук), принцип компенсированного расширения при твердении цементов (Л. Филатов), высокотемпературных условий получения теплоизоляционных материалов (В. Сафронов).

Редкое для той поры владение Отаром Петровичем немецким и английским языками способствовало формированию широкого круга международных контактов. Постоянно обновляющиеся технологические знания незамедлительно апробировались в изданиях за рубежом путем участия в конгрессах и конференциях по строительным материалам, что обеспечивало приоритетность отечественных разработок и формирование высокого авторитета харьковской школы строительного материаловедения.

Термокинетическое продолжение

После окончания вуза и нескольких лет работы мастером в украинской глубинке я вернулся в Харьков и поступил на работу в НИИ в должности младшего научного сотрудника.

Следует отметить, что бетон в начале 1960-х гг. представлял собой относительно простой четырехкомпонентный материал. Добавки рассматривались и изучались как средство экономии цемента и теплоносителя – пара. Рынка добавок в бетон еще не существовало, а их исследования разворачивались в рамках так называемой «химизации» бетона.

Традиционный функциональный поиск добавок дополняется выбором реагентов с учетом роли воды как растворителя. Термодинамические данные – энтропия (ΔS) и энтальпия (ΔH) растворения предопределяли концентрацию добавок, способность к технологическому регулированию свойств. Температурно-временные характеристики процессов твердения использовались для их оценки. Физико-химические предпосылки такого подхода просты. Любые добавки независимо от типа, природы и механизмов действия влияют на элементарные акты – смачивание, адсорбцию, химические реакции, гидратообразование и др., корректное выделение которых сложно и даже не-



О.П. Мчедлов-Петросян



Учитель и ученик – О.П. Мчедлов-Петросян и А.В. Ушеров-Маршак

* Приступая к подготовке материала, автор не мог предположить сложностей «втиснуть» в журнальные рамки свершения Харьковской школы. Но есть десятки монографий, множество статей и докладов в печатной и электронной форме, неперменные ссылки на которые – свидетельство неснижающейся их актуальности.

возможно. Каждый акт вносит вклад в совокупный энергетический баланс твердения, особенно ощутимый на самых ранних стадиях.

Измерение совокупных тепловых эффектов от действия добавок — объект калориметрии. В физико-химической лаборатории института «Южгипроцемент», возглавляемой О.П. Мчедловым-Петросяном, в 1967 г. были начаты исследования дифференциальной калориметрии. Специфика гетерогенных взаимодействий легла в основу создания приборов и методик измерений тепловых эффектов. Гомогенизация дисперсного порошка с водой и растворами добавок осуществлялась непосредственно в калориметрическом блоке прибора с чувствительностью 10^{-3} – 10^{-4} °С. В результате исследований были установлены закономерности влияния добавок на ранние стадии твердения цементов.

Вскоре я смог на практике применить результаты наших научных исследований. На Харьковском ДСК № 1, в те времена одним из крупнейших и технологически продвинутых предприятий в Союзе, куда я перешел работать, были организованы строительная и метрологическая лаборатории, стали внедрять технологию бетона ускоренного твердения при ТВО.

Сугубо утилитарные производственные задачи не исключали чисто научных целей. В заводской лаборатории изучали гидратацию клинкерных минералов и цементов в присутствии добавок-электролитов, ПАВ и их комплексов. Была подтверждена пропорциональность массы прореагировавшего вяжущего с количеством выделившейся при гидратации теплоты. *Впервые обоснована результативность термокинетического анализа (ТКА).* Для интерпретации результатов ТКА привлекался аппарат кинетики гетерогенных реакций и переходного состояния. По данным о константах скоростей реакций (k), энтальпии (ΔH) и энергии активации ($E_{\text{акт}}$) впервые были установлены границы применимости кинетических моделей описания гидратации, например C_3S , C_3A др. Калориметрическая оценка влияния катионов и анионов добавок на величины экзотермических эффектов и длительность характерных периодов гидратации служила основой технологических заключений.

Взаимосвязь калориметрической и технологической информации обусловила результативность ТКА в решении разнообразных теоретических и практических задач технологий цемента и бетона нормальной и ускоренной твердения на термокинетической основе.

Термокинетика определена как раздел гетерогенной макрокинетики, представляющей собой единую феноменологическую теорию скорости и полноты переноса и преобразования энергий. Термокинетика изучает закономерности гидратационных

превращений во времени в единицах скорости и полноты тепловыделения.

Калориметрический центр строительного материаловедения им. О.П. Мчедлова-Петросяна

Разве мог я подумать, Мог поверить тогда...

В конце 1976 г. мы с Отаром Петровичем стали сотрудниками Харьковского инженерно-строительного института, где развернулись масштабные исследования в термокинетическом направлении. На одном из экспериментальных заводов АН Украины изготавливались современные калориметры, заказчиками выступали ведущие НИИ и вузы страны — НИИЖБ, ВНИИТермоизоляция, НИИЦемент, МХТИ, ЛТИ и др. Среди соратников словами благодарности вспомним В.В. Тимашова, Т.В. Кузнецову, В.Б. Ратинова, В.Г. Батракова, И.Б. Заседателя, А.Ю. Каминскаса, В.А. Вознесенского, П.В. Кривенко, В.Р. Фаликмана, А.И. Вовка и многих других.

Многое из сделанного хорошо известно. Выделим главное:

- создана уникальная экспериментальная база калориметрического изучения реакционной способности и процессов твердения вяжущих веществ и бетонов при нормальной, отрицательной и повышенной температуре, включая программируемые адиабатические, неизотермические и автоклавные условия;
- разработан аппарат ТКА на основе имитационных аналитических моделей гидратации с выделением характерных периодов и определением параметров гидратации — энергии активации, температурных коэффициентов реакций и пр.;
- предложена термокинетическая классификация закономерностей гидратации неорганических вяжущих веществ по признакам скорости и полноты реакций;
- определена роль термокинетического фактора в процессах твердения широкой гаммы вяжущих веществ и бетонов;
- данные ТКА используются в информационных технологиях (IT) бетона и железобетона с целью оптимизации составов и режимов твердения.

Практически все исследования привязаны к значимым технологическим задачам, включая гипс, известь, магнезиальные, шлакощелочные и др. вяжущие, обычные и специальные цементы и бетоны.

Особое внимание при постановке и проведении исследований уделялось химическим, минеральным и комплексным добавкам, сыгравшим решающую роль в технологическом преобразовании отрасли на границе XX и XXI вв. Новые знания и



О.П. Мчедлов-Петросян в президиуме Международного конгресса по химии цемента (Рио-де-Жанейро)



О.П. Мчедлов-Петросян и А.В. Ушеров-Маршак с польскими коллегами профессорами В. Курдовски и Я. Малолепши



Лекция в техническом университете (Коттбус, Германия)

способы достижения заданных свойств позволяют получать цементы и бетоны с низким содержанием клинкерной составляющей и регулируемыи показателями роста прочности и тепловыделения.

Отметим установленное явление кинетической селективности влияния добавок на скорость и полноту протекания элементарных актов гидратации. Наиболее значимы успешные попытки количественной оценки и регулирования функциональной совместимости добавок с цементными – важной и нерешенной проблемы технологии бетона.

Термопорометрия (ТПМ) – неразрушающий метод исследования микроструктуры цементного камня в области коллоидных (нано-) размеров 10^{-10} – 10^{-7} м путем определения теплоты фазовых переходов при замораживании (оттаивании) образцов с применением сканирующей калориметрии (В. Сопов). ТПМ позволяет определять параметры микропористости цементного камня – размеры пор, распределение по размерам, форму гелевых пор для оценки опасности льдообразования во взаимосвязи с плотностью, проницаемостью, стойкостью бетона.

Научные и прикладные результаты работы калориметрической лаборатории ХИСИ были высоко оценены руководством отрасли. В 1984 г. она была преобразована в Калориметрический центр строительного материаловедения Минпромстройматериалов СССР.

Цикл работ «Термокинетический анализ неорганических строительных материалов» в 1986 г. удостоен премии им. акад. Н.С. Курнакова АН СССР за выдающиеся достижения в области физико-химического анализа. В 1993 г. обобщенная работа «Термодинамические и термокинетические основы строительного материаловедения» отмечена Государственной премией Украины в области науки и техники. В 1997 г. Калориметрическому центру присвоено имя О.П. Мчедлова-Петросяна.

Нынешний, далеко не простой этап деятельности калориметрического центра характерен развитием *температурно-временного мониторинга (ТВМ) твердения цементных систем*, который раскрывает перспективы решения сложных технологических задач обеспечения функциональности многокомпонентных цементов, бетонов и сухих строительных смесей (А. Кабусь).

Принципиально важны возможности использования калориметрии в современных информационных технологических и понятийных системах «состав–структура–процесс–свойство» с акцентом на концептуальную физико-химическую сущность сложных превращений на разных стадиях получения и эксплуатации строительных материалов, изделий и конструкций.

Сказанное дополним кратким перечнем крупных физико-химических направлений и работ Харьковской школы строительного материаловедения – электрокоррозия и защита бетона (А. Старосельский), зимнее бетонирование (В. Чернявский), тонкодисперсные компоненты бетона (А. Ольгинский), оптимизация (В. Шеин), получение керамзита (В. Софронов), коллоидно-химические аспекты (А. Плугин) и др.

Методология многолетней деятельности школы базируется в опережающем и масштабном использовании в познавательно-прикладных целях комплекса целесообразных физических и физико-химических методов исследования. Здесь – термический и рентгеновский анализ, калориметрия, кондуктометрия, потенциометрия (рН), ультразвук, СВЧ, инфракрасная спектроскопия, ЯМР и ЭПР, электрохимия и т. п.

Масштаб международного признания работ О.П. Мчедлова-Петросяна и его школы подчеркивает участие в организации международных конгрессов по химии цемента. Отар Петрович был генеральным секретарем конгресса в Москве, членом оргкомитета конгрессов в Париже, Стокгольме, Рио-де-Жанейро и др.

Наша школа – Отарова Отара

Любая научная школа – это творчески мотивированная группа ученых, под идейным руководством лидера решающая совокупность теоретических, прикладных и образовательных задач. Лидер школы – компетентный и стратегически мыслящий ученый, преданный делу, увлеченный, честный и толерантный человек. Таким и был Отар Петрович.

Уникален стиль его работы, вернее, взаимодействия с учениками. Отар Петрович никогда не навязывал строго установленные рамки и объемы исследования. Общая идея каким-то неясным, виртуальным образом, возможно, на нейронном уровне поступала к ученику, давая возможность самоидентификации. Так, по шагам, в прекрасной творческой атмосфере развивалась школа.

Обобщая деятельность школы О.П. Мчедлова-Петросяна, к ней смело можно причислить сотни кандидатов, десятки докторов наук – его учеников, многие годы вносящих достойный вклад в развитие физической химии и технологии строительных материалов.

Немного о личном

Интернациональны корни Отара Петровича. Близкий родственник по мужской линии – отец Гавриил (Кикоидзе) (1825–1896), епископ Имеретинской и Горийской епархий, служил в Тифлисской (Тбилисской) духовной семинарии. Преподавал физику, математику и богословие. Автор книги «Основания опытной психологии». Канонизирован в 1995 г. Его жена – русская, дочь Петербургского священника.

Отец, Мчедлишвили – служащий. Мама – Александра Зеленцова, родом из Тверской губернии. Отчим – Петр Павлович Петросян, химик-металловед, профессор.

Жена, Нора Николаевна (Самарчан), кандидат филологических наук, преподавала английский язык. Сыновья – Петр, физик-теоретик, кандидат физ.-мат. наук, Николай – доктор хим. наук, профессор, зав. кафедрой физической химии Харьковского национального университета.



Юбилей Отара Петровича с профессорами В.И. Бабушкиным, Ф.А. Латышевым и А.В. Ушеровым-Маршаком

Наука с искусством – сестры

Так начинается стихотворение Отара Петровича Мчедлова-Петросяна из сборника «На ситах памяти». Кого из умных, красивых, но очень ревнивых сестер выбирать? Ответ очевиден. Стихи дополнили многогранность, как ведущее качество личности ученого.

Тонкая лирика, глубокие литературные портреты, переводы стихов известных поэтов с немецкого и английского свидетельствуют о тонкой и глубокой натуре Отара Петровича, высококультурного человека, привлекающего к себе людей разного возраста и уровня от студентов до академиков.

Не только наука, но и любовь к поэзии, стихосочинительство связывали нас в течение десятилетий. Ахматова и Есенин, Окуджаву и Евтушенко – любимые поэты.

Отару Петровичу я посвятил несколько стихотворений, из которых выделю юмористическую компоненту.

В Париже к его приезду на конгресс:

*Пляс Пигаль клокочет,
Монтан поет. Он выбрит и не пьян.
Брижитт Бардо волнуется и хочет
Обнять тебя, о Мчедлов-Петросян.*

А великие певцы Востока – Омар Хайям и Саади констатируют:

*Когда поет он о цементе,
Мир песен лучше не слышал.
Век воплощается в моменте
И веет сотней опалх.*

Закончу свое повествование некрасовской концовкой:

*Учитель, перед именем твоим
Позволь смиренно преклонить колени!*

Основные издания школы О.П. Мчедлова-Петросяна

1. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов. 1962, 1965, 1975, 1984, немецкие издания – 1964, 1965, английское издание – 1985.
2. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов. 1971, 1988.
3. Бабушкин В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона. 1968.
4. Мчедлов-Петросян О.П., Филатов Л.Г. Расширяющиеся составы на основе портландцемента. 1965.
5. Мчедлов-Петросян О.П., Чернявский В.Л. Структурообразование и твердение цементных паст и бетонов при пониженных температурах. 1974.
6. Шейн В.И. Физико-химические основы оптимизации технологии бетона. 1974.
7. Старосельский А.А. Электрокоррозия железобетона. 1978.
8. Мчедлов-Петросян О.П., Ушеров-Маршак А.В., Урженко А.М. Тепловыделение при твердении вяжущих веществ и бетонов. 1984
9. Ушеров-Маршак А.В. Калориметрия цемента и бетона (русс. и англ. яз.). 2002.
10. Ушеров-Маршак А.В. (научный редактор). Химические и минеральные добавки в бетон. 2005.
11. Софронов В.С. Оптимизация производства материалов во вращающихся печах. 2012.
12. Плугин А.Н. Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности бетона. 2012.
13. Ушеров-Маршак А.В. Бетон. Лексикон. Российское издание. 2009; украинское – Толковый словарь «Бетон и сухие строительные смеси». 2010; польское – Бетон. Лексикон. 2016.
14. Ушеров-Маршак А.В. Бетонведение. Современные этюды. 2016.

ВСПОМИНАЮТ КОЛЛЕГИ И УЧЕНИКИ

Профессор-институт.

Основной период жизни и деятельности Отара Петровича связан с Украиной. Не менее важны международные контакты. Он был своеобразный «профессор-институт», каких сегодня нет. Памятны крупнейшие форумы по химии и технологии строительных материалов с его активным участием. С благодарностью храню в памяти отношение авторитетного профессора, доверившего мне в начале научной карьеры сделать принципиально важный доклад на Московском конгрессе по химии цемента, где он был генеральным секретарем.

Незабываемы встречи с семьей профессора в его харьковском доме, беседы в прекрасной библиотеке. Наука сменялась дегустацией чудесных грузинских вин. Звучали стихи и песни Булата Окуджавы, Владимира Высоцкого и Александра Вертинского.

В мире нет незаменимых людей. Когда думаешь о профессоре Мчедлове-Петросяне, с этим трудно согласиться. Не хватает его знаний, культуры и доброжелательности к людям, скромности и простоты. Остались дела ученого, высокая значимость его работ во всех областях силикатной науки, химии и технологии цементов и бетонов. Но его недостает очень...

В. Курдовски, профессор (Краков)

Способность обрести судьбу.

Бывает так, что при первой же встрече понимаешь – перед тобой не простой человек, а личность, яркая и незаурядная, с огромной силой обаяния, ума и таланта. Впервые я увидела Отара Петровича Мчедлова-Петросяна в 1965 г. на международной конференции. С легкостью и увлеченностью он переводил немецкую и английскую речь, так что казалось, просто беседуют старые друзья после долгого расставания.

Отар Петрович часто приезжал в Москву. Уже первые контакты убеждали, что это человек редкого таланта и отзывчивого сердца. Не один раз в составе делегации мы прогуливались по Парижу и становилось ясно, что он глубоко понимает разные виды искусства. В Лувре Отар Петрович заменил гида в знакомстве с творениями Родена и Леонардо да Винчи. Казалось, именно он создал «Мыслителя» или стоял рядом с да Винчи, глядя в наброски Моны Лизы.

Дела выдающегося ученого и человека остаются в памяти тех, кто работал и общался с ним. Его имя в списке самых известных мировых ученых химиков-цементников. Талант означает способность обрести судьбу...

Т. Кузнецова, профессор (Москва)



Глубина и результативность исследований.

Сегодня абсолютно возможно устанавливать кристаллохимические закономерности гидратации, раскрывая природу вяжущих благодаря исследованиям О.П. Мчедлова-Петросяна. В 1956 г. молодой ученый на равных вошел в плеяду ярких участников этапного совещания по химии цемента наряду с П.А. Ребиндером, П.П. Будниковым, Н.А. Тороповым, Н.В. Беловым. На примере серпентинитового цемента он показал существенную роль пониженной или искаженной координации активных катионов, а также концентрации гидроксильных ионов в проявлении вяжущих свойств.

Фундаментальный подход и интуиция ученого определили почти на полвека развитие всемирно известной, приоритетной и результативной Харьковской научной школы.

В душе Отар Петрович был поэтом, и тепло его личности всегда согревает наши сердца.

М. Саницкий, профессор (Львов)

Вспоминая Отара Петровича.

Тридцать лет Отар Петрович был постоянным участником конгресса IBAUSIL в Веймаре. Неординарные доклады и живое общение с корифеями строительного материаловедения всего мира — яркая примета форумов.

Мое знакомство и общение с выдающимся ученым и его школой в Харькове длятся с 1972 г. Не уходят из памяти встречи за чашкой кофе в его доме — своеобразной библиотеке научной и художественной литературы на русском, грузинском, немецком и английском языках. Привлекательно знание немецкой поэзии. Стихи Рильке он переводил на русский.

Х.-Б. Фишер, доктор-инженер (Веймар)

Наследие великого ученого-интернационалиста.

Без ссылок на труды профессора О.П. Мчедлова-Петросяна до сих пор практически нет научных работ в Казахстане. Уникально это долголетие цитирования.

Его представления о смене коагуляционной и кристаллизационной структур в связи с интенсивностью реакций гидратации вяжущих систем объясняют во многом выбор соотношений компонентов в цементах с различными типами казахстанских шлаков. Основные понятия и термодинамические закономерности формирования гидратных новообразований — азбука материаловедения.

Интернационализм Отара Петровича, впитавшего грузинскую, русскую, армянскую и немецкую культуру, — особенно актуален в наше переходное время...

З. Естемесов, профессор (Алматы)

Востребованные труды.

Труды профессора О.П. Мчедлова-Петросяна более полувека тесно связаны с работами ученых БГТУ. Термодинамические представления и закономерности природного и гидратационного фазообразования лежат в основе масштабных технологических разработок в области вяжущих, заполнителей и эффективных бетонов с использованием сырьевой базы Белгородского и других регионов России. На стыке фундаментальных наук в университете развиваются новые научно-технологические направления.

В. Лесовик, профессор (Белгород)

Выдающийся ученый и добрый человек.

Один доктор и несколько кандидатов наук из Баку трудились под руководством Отара Петровича. На десятки других оказали серьезное влияние труды — фундаментальные монографии, доклады на конференциях, Бакинском Менделеевском конгрессе, в Институте стройматериалов республики.

В год юбилея вспоминаются характерные черты и манера общения — показатели щедрости души. Открытая улыбка всегда оставалась неизменной. Иногда в президиуме мероприятий он мог вздремнуть, вызывая добрые усмешки окружающих. Однажды на дружеском банкете после конференции на берегу «Седого Хазара» Отар Петрович, к полной неожиданности, прочитал стихи известного азербайджанского поэта XIX в. Мирзы Шафи Вазеха. Его творчеству профессор посвятил стихотворный портрет.

С. Фаталиев, профессор,
Р. Хосров, кандидат наук (Баку)

Учитель с большой буквы.

В семье Владимира Ивановича Бабушкина хранится память об удивительном даре Отара Петровича — увидеть и в атмосфере искренности, доброжелательности, информационной подпитки и творческой дискуссии развивать до уровня таланта способности учеников. Эта благодатная аура обеспечила В.И. Бабушкину возможность подготовить основополагающие труды «Термодинамика силикатов», «Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона» и другие, актуальные на протяжении полувека.

Влияние Учителя и всей «отары», как с тонким юмором называли свою школу ее ученики, превратили сельского мальчика из шахтерской среды в крупного ученого и педагога, воспитавшего когорту своих учеников, включая династию Бабушкиных—Кондращенко.

Е. Кондращенко, профессор (Харьков)
В. Кондращенко, профессор (Москва)

Наставник польских студентов и аспирантов.

Харьков хорошо знают в Польше как крупный научный, промышленный и культурный центр. Известен и харьковский коллектив ученых-стройматериальщиков.

В аспирантуре профессора Отара Петровича Мчедлова-Петросяна я обучался почти тридцать лет назад. Помимо европейской известности и авторитета привлекала товарищеская атмосфера на кафедре, искренняя помощь в подготовке диссертации. В аспирантуре и докторантуре обучались и другие поляки.

Интересны Отару Петровичу были католический храм в Харькове, религиозные праздники, которые мы беспрепятственно отмечали в Украине и Польше. Стиль жизни и деятельности высококультурного ученого и преподавателя оказал на меня плодотворное влияние при освоении сложных дипломатических функций в разных странах.

Ки. Свидерек, кандидат наук,
генеральный консул Польши в Иркутске

УДК 502:504

Д.В. ОРЕШКИН, д-р техн. наук (dmitrii_oreshkin@mail.ru)

Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (111020, г. Москва, Крюковский тупик, 4)

Экологические проблемы комплексного освоения недр при масштабной утилизации техногенных минеральных ресурсов и отходов в производстве строительных материалов

Рассмотрены экологические проблемы территорий РФ, связанные с уменьшением доступных запасов минеральных ресурсов недр Земли на фоне нарастания количества техногенных отходов (ТГО), увеличения занимаемых отвалами и полигонами земельных площадей, а также негативного влияния на окружающую среду. Приведена экологическая оценка фосфогипса, послеспиртовой барды, молочной сыворотки, тиосульфата натрия, тонкодисперсных отходов белого мрамора и бурового шлама. Представлены научные основы комплексной методики экологической оценки ТГО и их утилизации, обоснована возможность использования указанных отходов как сырьевых компонентов для производства строительных материалов. Проведен инвентаризационный и классификационный анализы техногенных отходов, включающий гранулометрические, микроструктурные, рентгенофазовые, химические и физико-технические исследования, а также классификацию опасности ТГО. Представлены способы утилизации техногенных отходов и количественная оценка перспективы внедрения таких технологий.

Ключевые слова: экологические проблемы территорий, ресурсный подход, утилизация техногенных отходов в производстве строительных материалов и изделий, объемы отходов.

Для цитирования: Орешкин Д.В. Экологические проблемы комплексного освоения недр при масштабной утилизации техногенных минеральных ресурсов и отходов в производстве строительных материалов // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 55–63.

D.V. ORESHKIN, Doctor of Sciences (Engineering) (dmitrii_oreshkin@mail.ru)

Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences (4, Kryukovskiy Tupik, Moscow, 111020, Russian Federation)

Environmental Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Re-Sources when Large-Scale Utilization of Man-Made Mineral Resources and Waste in the Production of Building Materials

The article deals with the environmental problems of the territories of the Russian Federation. They are connected with the reduction of the available inventory of mineral resources of the Earth at increasing number of man-made waste (MMW), increasing occupied by dumps and landfills of land areas as well as the negative impact on the environment. The author gives an environmental assessment of phosphogypsum, recycling of bards, whey, sodium thiosulfate, fine white marble and waste drilling mud. In the article scientific foundations of the integrated methodologies of environmental assessment of MMW and their recycling in the production of building materials and products were elaborated, the possibility of using these stated wastes as raw materials for their production, while addressing environmental concerns of the territories, was justified. In the article inventory and classification analyses of man-made waste were held. These tests include grain, microstructure, x-ray phase, chemical and physico-technical researches, as well as danger classification of MMW. The ways of recycling of man-made waste and quantification of prospects of implementing such technology were specified.

Keywords: environmental problems of the territories, the resource approach, utilization of man-made wastes in the production of building materials and products, volumes of waste.

For citation: Oreshkin D.V. Environmental problems of comprehensive exploitation of mineral resources when large-scale utilization of man-made mineral resources and waste in the production of building materials. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 55–63. (In Russian).

По мере роста всех отраслей промышленности повышается потребление ресурсов недр Земли, в том числе минеральных, что ведет к образованию большого количества техногенных отходов (ТГО) производства. В связи с этим нарастают экологические проблемы. Промышленность строительных материалов одна из немногих может утилизировать многотоннажные отходы других отраслей. Проведение масштабной утилизации ТГО может существенно расширить сырьевую базу производства строительных материалов, а также способствовать улучшению экологической обстановки в регионах. Например, при утилизации отходов 3-го класса опасности по Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) путем использования их в качестве сырьевых компонентов в производстве строительных материалов возможно понизить класс опасности готовой продукции до 4-го. Также при активном использовании отходов освобождаются отчужденные земельные участки, занятые отвалами и полигонами ТГО. В данном случае регионы получают двойную выгоду в виде экологического и экономического эффекта. Однако для применения строительных материалов и изделий на основе техногенных отходов в строительстве

необходимо обязательное их соответствие государственным техническим стандартам [1].

В конце XX в. остро проявились противоречия между потребностью мировой цивилизации в минеральных ресурсах и возможностью литосферы их удовлетворять [2–4]. Существуют технологии добычи и переработки минеральных ресурсов, где готовая продукция составляет не более 2% от извлеченных полезных ископаемых. Остальную массу представляют отходы [2, 3].

Нерудные минеральные ресурсы обычно добывают открытым способом. Следовательно, территории карьеров исключены из хозяйственного оборота и нарушают природные ландшафты, биосферу (как минимум почвенный слой), режимы составляющих гидросферы, т. е. экологию окружающей среды. Любой рост промышленности требует увеличения производства строительных материалов. В свою очередь, рост производства строительных материалов истощает недра Земли за счет потребления минеральных ресурсов.

Таким образом, для сохранения экологического равновесия регионов необходимо: во-первых, проводить комплексное освоение всех месторождений, а во-вторых, использовать в производстве строительных

Таблица 1

Производство удобрений,
в том числе фосфорных, и их отходы

Год	Выпуск МУ, млн т	Выпуск ФУ, млн т	Отходы ФГ, млн т
1980	24,8	4,46	9,8–11,1
1986	34,7	6,25	13,7–15,6
1988	37	6,66	14,6–16,6
1990	15,9	4,9	10,8–12,3
1991	15,04	4,27	9,4–10,7
1992	12,3	3	6,6–7,5
1993	8,6	2,05	4,5–5,1
1994	7,5	1,6	3,5–4
1995	8,76	1,74	3,8–4,3
1996	8,31	1,49	3,3–3,7
1997	9,5	1,82	4–4,5
1998	9,28	1,7	3,7–4,2
1999	11,53	2,12	4,7–5,3
2000	12,22	2,4	5,2–5,9
2004	15,8	2,84	6,2–7
2005	16,62	3	6,6–7,5
2006	16,2	2,8	6,1–6,9
2007	17,3	2,9	6,3–7,2
2008	16,2	2,5	5,5–6,3
2009	14,65	2,5	5,5–6,3
2010	17,6	3,1	6,8–7,7
2011	18,7	3,3	7,2–8,2
2012	17,6	3,2	7–7,9
2013	18,3	3,1	6,8–7,7
2014	19,6	3	6,6–7,5
2015	19,92	3,22	7,1–8,1
2016	19,99	3,27	7,1–8,1

материалов техногенные отходы. Научные основы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых на базе ресурсного подхода разработаны в ИПКОН РАН [5–7].

После выступления Президента РФ В.В. Путина с посланием к Федеральному собранию в 2016 г. и проведения заседания Государственного совета по вопросу об экологическом развитии Российской Федерации в интересах будущих поколений 27.12.2016 г. об экологических проблемах вновь заговорили на всех уровнях власти.

Для реального решения экологических проблем требуется комплексная экологическая оценка техногенных отходов и их объемов на территории России. Также необходимо разработать научные основы и обоснование возможности их масштабной утилизации в производстве экологически безопасной продукции, в том числе строительных материалов, изделий и конструкций. Естественно, решение может быть найдено в совместном рассмотрении строительных материалов как материальной основы строительства, производственных и строительных технологий.

Целями статьи являются:

1) оценка экологических проблем России, связанных с нарастанием объемов техногенных отходов фосфогипса, белого мрамора, бурового шлама, послеспиртовой барды, молочной сыворотки, тиосульфата натрия при уменьшении доступных запасов минеральных ресурсов недр Земли;

2) обоснование возможности использования указанных техногенных отходов в качестве сырьевых компонентов для производства строительных материалов и изделий.

Для оценки экологической проблемы в РФ и Европе на практике используют международные нормы: ГОСТ Р ИСО 14040–2010 «Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура» и ГОСТ Р ИСО 14050–2009 «Менеджмент окружающей среды». На первом этапе для оценки объемов и опасности техногенных отходов применяют инвентаризационный и классификационный анализ. Инвентаризационный анализ позволяет определить объемы и жизненный цикл отходов, их вещественный, минеральный и химический, гранулометрический состав, физико-технические свойства. С помощью классификационного анализа устанавливается экологическая опасность отходов по ФККО.

Был проведен инвентаризационный и классификационный анализ отходов **фосфогипса** (ФГ) при производстве фосфорных удобрений (ФУ). В нем используют природное фосфатное сырье (апатиты и др.), которое добывается в основном на Крайнем Севере, в Мурманской области, и серная кислота.

Выпуск фосфорных удобрений (ФУ) по статистике составляет около 18% от общего производства минеральных удобрений (МУ). При производстве 1 т фосфорных удобрений образуется 1,6–2,5 т ФГ [2–4, 8].

По данным Ю.Г. Мещерякова и С.В. Федорова [2, 3], на конец 1987 г. в СССР в отвалах и на полигонах скопилось около 164 млн т фосфогипса. Такие отвалы и полигоны занимали более 1200 га земельных участков. Причем ежегодный прирост массы отходов фосфогипса в советское время составлял в среднем 10–15 млн т, а по данным [2, 3], прирост фосфогипса в отвалах достигал 20 млн т. В 1990 г. производство минеральных удобрений и потребление серной кислоты значительно снизилось. В табл. 1 приведено производство минеральных удобрений в пересчете на 100% питательного вещества.

На основании данных ЦСУ СССР и Росстата РФ была подсчитана общая масса техногенных отходов ФГ в России по состоянию на 1 января 2017 г. Она составила 340–375 млн т, а занимаемые площади отвалов – более 2 тыс га.

В России ФУ, при выпуске которых образуется большое количество ФГ, производят примерно 15 фирм. Наиболее крупными являются: ОАО «Аммофос» (г. Череповец, Вологодская обл.), ОАО «Аммофос» (г. Волжский, Волгоградская обл.), ОАО «Акрон» (города Великий Новгород, Дорогобуж, Смоленская обл.), ООО «ПГ «Фосфорит» (г. Кингисепп, Ленинградская обл.) и АО «Воскресенские минеральные удобрения» (г. Воскресенск, Московская обл.). ФГ образуется также на алюминиевых заводах, например на ОАО «Волховский алюминиевый завод» (г. Волхов, Ленинградская обл.) и др. Следует отметить, что в настоящее время в РФ мощности заводов минеральных удобрений загружены в основном на 50–60%. Следовательно, можно ожидать существенного увеличения образования техногенного ФГ при улучшении конъюнктуры рынка удобрений, особенно в самой России, так как основные объемы продукции экспортируются за рубеж.

ФГ размещается на полигонах. Утилизируется не более 10% от годового выхода этих отходов. Наиболее крупными полигонами, где размещают ФГ, являются Лопатинский – недалеко от г. Воскресенска Московской обл., городов Волхова и Кингисеппа Ленинградской обл., г. Череповца Вологодской обл., г. Волжского – пригорода Волгограда и др. Например, Лопатинский полигон, по разным оценкам, занимает более 900 га земель. На его территории размещено 65–75 млн т ФГ.

Таблица 2

Обобщенная экологическая оценка фосфогипса

Код ФККО, класс опасности	31224111395, 4-й класс опасности (низкая)
Негативное влияние фосфогипса на окружающую среду	Общая масса отходов фосфогипса – 340–375 млн т, отходами занято более 2 тыс. га земель, отходы образуют техногенные ландшафты
	Перевозка, размещение и хранение на полигонах с большими материально-техническими, финансовыми и эксплуатационными затратами
	Загрязнение атмосферы (пыль); биосферы (попадание в почву); гидросферы растворимыми соединениями фтора, фосфора, серы и др., механическими взвесьями
Эффективная удельная активность природных радионуклидов $A_{эфф}$	$A_{эфф} = 108–115$ Бк/кг – 1-й класс радиоактивности (по требованиям ГОСТ 30108–94 $A_{эфф}$ должен быть менее 370 Бк/кг)
Область применения	Для производства строительных материалов
Токсичность, пожаро- и взрывобезопасность	Нетоксичен, пожаро- и взрывобезопасен
Насыпная плотность, кг/м ³	1150–1250

Таблица 3

Усредненный химический состав фосфогипса

Оксид	Количество, мас. %	Оксид, элемент	Среднее значение, мас. %
SiO ₂	0,8–0,85	F _{общ}	0,1–0,17
Al ₂ O ₃	0,33–0,35	K ₂ O	0,03–0,05
Fe ₂ O ₃	0,24–0,267	Na ₂ O	0,04–0,05
CaO	39–39,4	MgO	0,03–0,04
SO ₃	59,1–59,4	Mn	0,01–0,02
P ₂ O ₅ общ	0,71–0,76	Cl	0,01–0,02
P ₂ O ₅ водораств	0,02–0,07	Sr	–

Таблица 4

Экологическая оценка послеспиртовой барды

Код ФККО, класс опасности	30121102395; 5-й класс опасности
Оценка негативного влияния послеспиртовой барды на окружающую среду	Загрязнение гидросферы при сливе на землю и попадании барды в грунтовые воды, водоемы, канализацию без очистки
	Отчуждение территорий и материально-технические затраты на строительство накопителей для барды
	Загрязнение атмосферы парами барды при хранении ее в накопителях и емкостях
	Загрязнение биосферы: большие дозы барды приводят к ухудшению свойств и плодородия почв пахотных земель и лесов

землю или в канализацию от 150 до 300 млн т послеспиртовой барды. Указанное обстоятельство и данные табл. 4 и 5 доказывают необходимость ее утилизации. По данным В.И. Теличенко, В.И. Соловьева, Е.В. Ткач, С.А. Ткача и др. [8–10], послеспиртовую барду можно использовать в виде гидрофильного компонента в орга-

Обобщенные данные по экологической оценке и свойствам ФГ сведены в табл. 2, а по химическому составу ФГ разных полигонов [2–4, 8–10] – в табл. 3.

Авторами работы [7] были проведены количественные анализы по наличию радиоактивных изотопов в фосфогипсе, в частности изотопов стронция Sr. Никаких изотопов обнаружено не было. Следовательно, с этой точки зрения он экологически безопасен, что подтверждают данные табл. 3. На основе фосфогипса можно производить строительные материалы (гипс, известь, сухие смеси и др.) и изделия (плиты перегородок и блоки) для внутренних работ.

В отвалах ФГ подвергается воздействию солнечной радиации, ветровым нагрузкам, атмосферным осадкам. В результате фосфорная и серная кислоты, их соли и другие растворенные вещества, соединения фтора могут проникать в подземные и поверхностные грунтовые воды, водоемы и загрязнять атмосферу, гидросферу и биосферу на многие километры вокруг полигона.

Проведенные исследования [2–4, 8–10] показали, что при утилизации ФГ возможно получение строительного гипса, извести, ячеистых бетонов, органоминеральных добавок в бетоны и растворы, использование при производстве портландцемента. Такие результаты интересны для отрасли по производству строительных материалов и химических фирм, имеющих большие отходы ФГ, который до сих пор практически не утилизируется, а объемы его отходов увеличиваются.

Экологические проблемы территорий, а также уменьшение доступных минеральных ресурсов диктуют использование ФГ. Это необходимо по следующим причинам [1, 8–10]:

- проблеме утилизации ФГ не уделялось должного внимания, что привело к образованию его огромных объемов;

- организация полигонов, транспортирование и хранение ФГ приводят к большим материально-техническим и эксплуатационным затратам;

- под полигоны отчуждаются большие территории земельных угодий;

- полигоны в настоящее время переполнены, что наносит большой ущерб окружающей среде.

ФГ можно утилизировать в производстве строительных материалов и вносить до 7 т на 1 га пахотной земли в сельском хозяйстве для раскисления солонцовых почв. При этом образуется растворимый сульфат натрия, который вымывается водой. ФГ можно применять как удобрение за счет наличия P₂O₅, входящего в состав фосфорных удобрений.

Утилизировать в производстве экологически безопасных материалов и изделий для строительства можно и такие техногенные отходы, как послеспиртовая барда, молочная сыворотка и тиосульфат натрия [8–10].

Послеспиртовая барда получается в виде отхода производства этилового спирта. Была проведена экологическая оценка послеспиртовой барды (табл. 4). В зависимости от технологии производства на 1 л этилового спирта образуется 10–15 л барды. В России ее ежегодный выход составляют от 10 до 14 млн т, а утилизируется не более 1 млн т [8–10]. Также были получены средние показатели послеспиртовой барды российских спиртовых заводов. Характеристики послеспиртовой барды представлены в табл. 5.

При негативном влиянии указанного ТГО на окружающую среду нарушается Федеральный закон № 171-ФЗ от 22.11.1995 (ред. от 29.12.2015, с изм. от 30.03.2016) «О государственном регулировании производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции и об ограничении потребления (распития) алкогольной продукции».

По расчетам, проведенным по данным государственной статистики, после 1992 г. в РФ накоплено, слито на

Характеристики послеспиртовой барды

Состав послеспиртовой барды, %	Исходное зерно для получения спирта (барды)				
	Рожь	Кукуруза	Овес	Ячмень	Картофель
Вода	92,65	93,15	91,86	93,10	95,64
Сухие вещества	7,35	6,85	8,14	6,90	4,36
Растворимые вещества (в пересчете на сухие)	2,89	2,49	1,97	2,7	2,1
Редуцирующие вещества (в пересчете на мальтозу)	0,42	0,53	0,26	0,44	0,31
Редуцирующие вещества после гидролиза с HCl	0,74	0,55	0,61	0,4	0,22
Крахмал	0,28	0,47	–	–	0,37
Пентозаны (в фильтрате)	0,46	0,41	0,23	0,41	0,45
Гемилцеллюлозы	1,73	1,78	1,35	1,18	2,28
Клетчатка	0,48	0,32	0,85	0,65	0,31
Азот	0,267	0,4	0,19	0,24	0,171
– в том числе в фильтрате	0,089	0,04	0,129	0,067	0,056
– зола	0,45	0,4	0,57	0,57	0,51

Таблица 6

Экологическая оценка молочной сыворотки

Код ФККО, класс опасности	30115000000, 4-й класс опасности
Оценка негативного влияния молочной сыворотки на окружающую среду	Отчуждение территорий и материально-технические затраты на строительство накопителей для молочной сыворотки
	Загрязнение биосферы – почвы при сливе на землю
	Загрязнение гидросферы при сливе на землю, в водоемы и грунтовые воды или канализацию без предварительной переработки: происходит загрязнение токсичными продуктами распада (меркаптаны, альдегиды, сложные эфиры). Молочная сыворотка имеет загрязняющую способность в 500–1000 раз больше, чем бытовые сточные воды

Таблица 7

Вещественный состав и свойства молочной сыворотки

Показатели	Молочная сыворотка		
	Подсырная	Казеиновая	Творожная
Сухое вещество, %, в том числе	4,5–7,2	4,2–7,4	4,5–7,5
молочный жир	0,05–0,5	0,05–0,4	0,02–0,1
белок	0,5–1,1	0,5–1,4	0,5–1,5
лактоза	3,9–4,9	3,2–5,1	3,5–5,2
минеральные соли	0,3–0,8	0,5–0,8	0,3–0,9
Кислотность, Т	15–25	50–85	50–120
Плотность, кг/м ³	1018–1027	1019–1026	1020–1025

номинеральном модификаторе для цементных систем (цементных бетонов и растворов).

На молочных заводах массово образуется побочный продукт – **молочная сыворотка**. Она имеет низкую стоимость. Была проведена экологическая оценка сыворотки (табл. 6). Инвентаризационный анализ установил, что в России при производстве молочных продуктов ежегодно образуется более 6 млн т молочной сыворотки и лишь менее 3 млн т идет на переработку в пищевую отрасль.

Были определены средние вещественный и элементный составы молочной сыворотки и ее компонентов (табл. 7 и 8).

В результате исследований определено, что все усредненные показатели сывороток ведущих российских молочных комбинатов соответствуют ГОСТ Р 53438–2009 «Сыворотка молочная. Технические условия». По этим показателям они также могут быть утилизированы в производстве органоминеральных модификаторов для цементных систем [8–10]. В результате утилизации можно достигнуть существенного экологического эффекта.

В отвалах предприятий, где на производстве используют хромовые соединения, образуются отходы техногенного **тиосульфата натрия (ТН)** или гипосульфита. Его запасы в настоящее время оценивают более 2 млн т, код в ФККО – 94140152404, относится к 4-му классу опасности. В отвалах бесцветные кристаллы или гранулы с формулой $Na_2S_2O_3$ практически не слеживаются. Фотографический ТН может иметь белый оттенок, а технический – желтоватый или розоватый. Его молярная масса – 158,11 г/моль, плотность – 1,667 г/см³. Может существовать в виде кристаллогидрата $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, плотность кристаллогидрата 1,715 г/см³. ТН хорошо растворим в воде – растворимость 70,1 г/100 мл (за 20 сут); 229 г/100 мл (за 80 сут); рН водного раствора при 20°C – от 6,5 до 9,5. В отвалах предприятий количество ТН в пересчете на $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, составляет от 98,1 до 98,8 мас. %. В отвалах установлены интервалы количеств железа (Fe) – 0,02–0,029 мас. %, нерастворимых в воде веществ – 0,01–0,029 мас. %, сернистого натрия (Na_2S) – 0,0009–0,001 мас. %, тяжелых металлов (Pb) – 0,0008–0,001 мас. %, кальция и магния, а также веществ, нерастворимых в аммониевых растворах, – 0,01–0,02 мас. %. Все эти результаты обследований соответствуют требованиям ГОСТ 244–76 для фотографического и технического тиосульфата натрия.

Авторы [8–10] рекомендуют использовать его в качестве стабилизатора ячеисто-бетонной смеси и ускорителя твердения при гидратации цементных систем.

Ресурсный подход [5–7] позволяет оценить качество освоения Коелгинского месторождения **белого мрамора** в Челябинской области, где образуется большое количество **тонкодисперсных отходов** [11–13]. Коелгинское месторождение является одним из крупнейших в мире: годовая добыча составляет 40–100 тыс. м³. Большие экологические проблемы связаны с тем, что при добыче и обработке мрамора отходы составляют до 35%. В год образуется до 450 тыс. т техногенных тонкодисперсных

Таблица 8
Элементный состав солей
сыворотки, мг/100 г

Элемент	Количество, %
Na	42
K	130
Ca	60
Mg	8
P	78
Fe	0,1

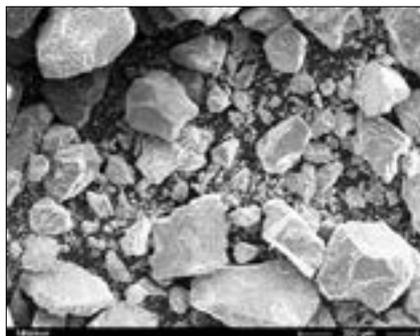


Рис. 1. Микроструктура тонкодисперсных отходов мрамора

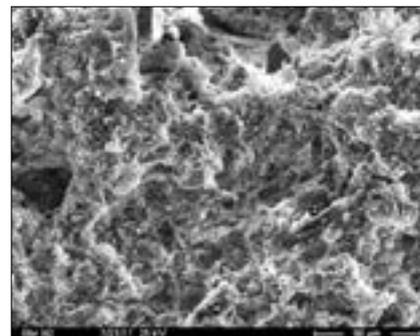


Рис. 2. Микроструктура бурового шлама

Таблица 9
Гранулометрический состав
тонкодисперсных отходов мрамора

Диаметр частиц, мкм	Количество, %
0–9	27–27,2
10–49	21–21,4
50–99	23–23,4
100–199	15–15,1
200–299	7,5–8,1
300–360	5,8–6,2

Таблица 10
Элементный и химический состав
тонкодисперсных отходов мрамора

Элемент	Содержание, мас. %
Ca	41,3–42,7
C	10,2–10,9
O	46,1–46,5
Оксиды	Содержание, мас. %
CaO	57,2–57,6
CO ₂	42,5–42,7

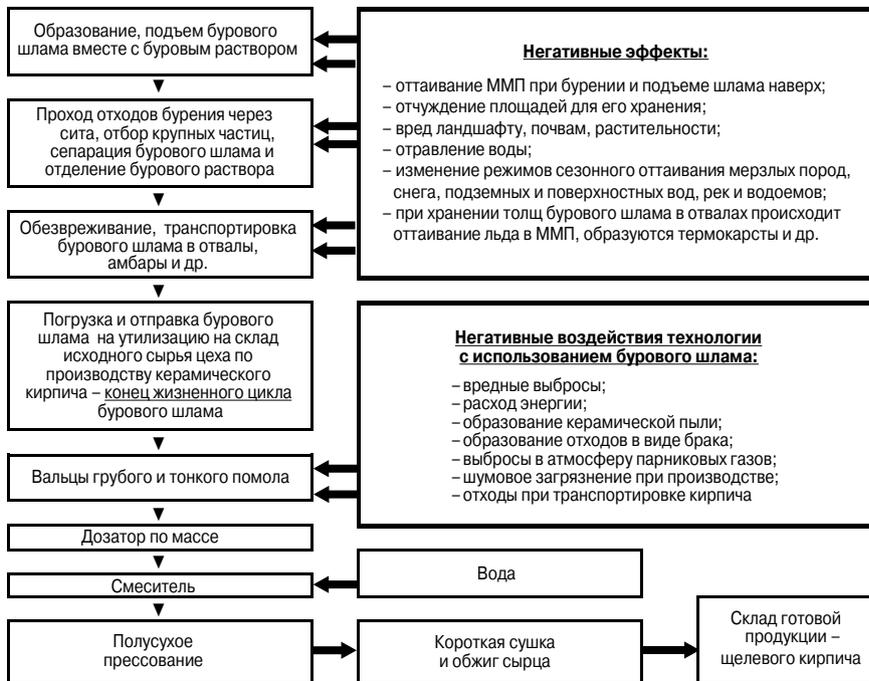


Рис. 3. Блок-схема жизненного цикла и негативных экологических эффектов размещения бурового шлама и производства кирпича на его основе

отходов мрамора. Их суммарная масса в отвалах составляет 20–25 млн т. Тонкодисперсные отходы мрамора относятся к 3-му классу опасности и занимают свыше 20 га. Это оказывает негативное влияние на окружающую среду не только территории месторождения, но и всего Южного и Среднего Урала.

При хранении в отвалах на техногенные отходы мрамора постоянно действуют атмосферные осадки, солнечный свет, колебания температуры, ветровые нагрузки, грунтовые воды и т. п.

Белый мрамор состоит из кальцита без примесей. Он имеет среднюю стойкость к выветриванию, хорошо обрабатывается, шлифуется и полируется [11–14].

Отходы образуются в виде щебня, песка, пыли и шлама после абразивной обработки изделий. В строительстве широко используют щебень и песок [14]. Тонкодисперсные отходы можно использовать как наполнитель в линолеумах, красках, сухих строительных смесях и при производстве других строительных материалов.

Инвентаризационный анализ тонкодисперсных отходов мрамора установил, что более 71 мас. % имеют размеры менее 100 мкм (табл. 9), а удельная поверхность равна 2540–2555 см²/г. Такие частицы склонны к пылеобразованию в нижних слоях атмосферы. Истинная плотность этих частиц мрамора 2,66–2,67 г/см³.

Были проведены рентгенофазовый и микроструктурный (рис. 1), элементный и химический анали-

зы тонкодисперсных отходов мрамора (табл. 10). Классификационный анализ относит эти отходы к 3-му классу опасности.

Во время жизненного цикла тонкодисперсных отходов добычи и обработки мрамора на окружающую среду оказывают воздействия следующие негативные процессы:

- истощение ресурсов недр Земли (литосферы и гидросферы);
- нарушение природного равновесия в экосистеме;
- загрязнение гидросферы, включая грунтовые подземные, поверхностные, талые воды, изменение гидрологического режима рек и водоемов;
- нарушение и уничтожение плодородного слоя биосферы (почвы);
- изменение природных и формирование техногенных ландшафтов;
- загрязнение атмосферы пылью и испарениями;
- повышенные шумовые нагрузки при добыче, перевозке и обработке;
- образование минеральных и/или техногенных отходов при добыче, обработке, размещении или захоронении, утилизации;
- уничтожение или деградация растительного и животного мира.

В случае использования тонкодисперсных отходов мрамора в производстве строительных материалов их

Таблица 11

Расходы компонентов и потенциальный выпуск кирпича с использованием тонкодисперсных отходов мрамора

Цвет и возможный объем выпуска кирпича	Наименование показателей	Расходы компонентов, кг/м ³
Терракотовый (темно-коричневый) – 41,7–50 млн шт.	Глинистая порода	1500
	Тонкодисперсные отходы мрамора	300
	Вода	465
Светло-красный (розоватый) – 33,8–40,5 млн шт.	Глинистая порода	1300
	Тонкодисперсные отходы мрамора	370
	Вода	403
Палевый (соломенный) – 28,4–34,1 млн шт.	Глинистая порода	1100
	Тонкодисперсные отходы мрамора	440
	Вода	341

Таблица 12

Количество скважин и объем бурения в СССР и России

Год	Проходка*, млн м ³	Количество скважин, шт., выбуренная порода, млн м ³
1970	≈9	3000–4500 0,45–0,621
1980	≈20	6670–10000 1–1,38
1990	≈43	14333–21500 2,15–2,967
1991	≈41	13667–20500 2,05–2,84
2000	≈6	2000–3000 0,3–0,414
2010	≈18	6000–9000 0,9–1,242
2012	20,5	6833–10250 1,025–1,414
2014	20,22	6740–10110 1,011–1,395
2015	22,64	7546–11320 1,132–1,562
2016	25,49	8497–12745 1,275–1,759

* Объемы проходки при бурении эксплуатационных и поисково-разведочных скважин взяты в том числе по диаграммам [19].

жизненный цикл можно представить в виде следующих технологических операций:

- снятие и вывоз почвенного слоя по всей площади карьера;
- снятие вскрышных пород и их перевозка в отвалы и т. п.;
- добыча крупных блоков мраморной породы и транспортировка к месту обработки;
- грубая обработка и распиловка блоков по заданным размерам;
- шлифовка и полировка мраморных изделий;
- сбор и сортировка ТГО мрамора;
- транспортировка ТГО мрамора в отвалы;
- транспортировка ТГО мрамора из отвалов на место производства строительных материалов на основе этих ТГО.

После доставки ТГО мрамора на склад сырьевых компонентов производства строительного материала, жизненный цикл ТГО заканчивается. Он становится составной частью жизненного цикла строительного материала.

Это позволяет прогнозировать негативные воздействия ТГО на окружающую среду и разрабатывать спо-

собы их снижения во время всего жизненного цикла строительного материала или изделия. Практически для любого строительного материала или изделия на основе утилизируемых ТГО классификационный анализ определит снижение уровня экологической опасности изделий по сравнению с самими ТГО.

Весьма существенной задачей экологической оценки является определение эффекта, равного экологическому ущербу от отчуждения территорий под отвалы тонкодисперсных отходов мрамора. Для этого был проанализирован экологический эффект от их утилизации за счет сокращения площадей, занятых отвалами. Его предлагается оценивать по ущербу окружающей среде от загрязнения территории горно-промышленного комплекса. Расчет проведен в соответствии с методикой [15].

По расчету установлено, что нанесенный ущерб окружающей среде от размещения (складирования) в отвалах тонкодисперсных отходов мрамора для Челябинской области равен около 500 тыс. р./год в ценах 2017 г. С учетом количества отходов, уже размещенных в отвалах ОАО «Коелгамрамор», оценка экологического ущерба составляет 25–30 млн р.

Утилизация тонкодисперсных отходов мрамора, например в производстве эффективного облицовочного керамического кирпича, может снизить экологическую нагрузку на окружающую среду за счет уменьшения объема отходов в отвалах. Это позволит сократить площади отчужденных территорий под отвалы и вернуть земельные участки в хозяйственный оборот. В статьях [11–13] были определены расходы тонкодисперсных отходов мрамора на 1 м³ формовочной смеси для производства керамического кирпича. Было рассчитано количество кирпича формата 1НФ, которое можно произвести при полной утилизации тонкодисперсных отходов мрамора в отвалах комплекса ОАО «Коелгамрамор». Результаты представлены в табл. 11.

На основе тонкодисперсных отходов мрамора можно производить керамический кирпич, соответствующий ГОСТ РФ и имеющий 4-й класс опасности. Было установлено, что обжиг отформованного керамического сырья осуществляется при температуре 850–900°C. При этом частицы мрамора не подвергаются декарбонизации.

Экологическая оценка по жизненному циклу готовых изделий на основе указанных в этом обзоре ТГО с учетом технологий их производства и времени эксплуатации является многофакторной и будет рассмотрена в следующей статье.

В настоящее время добыча углеводородного сырья является для большинства стран стратегической задачей. Россия придает этому вопросу первостепенное значение. Поэтому нефте- и газоносные территории осваиваются быстрыми темпами.

При бурении разведочных и эксплуатационных нефтяных и газовых скважин на поверхность земли подня-

Таблица 13

Обобщенный элементный и химический анализ бурового шлама

Элемент	Содержание атомов, %	Оксид	Содержание оксидов, %
Na	0,9–1,83	Na ₂ O	1,13–1,17
Mg	0,99–2,06	Mg O	1,39–1,62
Al	4,66–9,99	Al ₂ O ₃	15,46–17,59
Si	10,09–23,09	SiO ₂	47,95–54,48
S	1,12–2,65	SO	2,18–2,35
Cl	0,39–0,9	Cl ₂ O	0,68–0,89
K	0,59–1,31	K ₂ O	1,12–1,42
Ca	9,96–10,21	CaO	10,22–12,24
Ti	0,09–0,21	TiO ₂	0,28
Fe	0,89–2,03	Fe ₂ O ₃	4,88–5,14
Ba	0,29–0,72	BaO	1,82–2,73

ты, а затем направлены в отвалы, амбары, ямы миллионы тонн бурового шлама. Вокруг буровых площадок шлам занимает большие территории. Это наносит колоссальный вред окружающей среде, нарушает равновесие всей экосистемы в целом. Такие процессы отрицательно влияют на гидро-, биосферу, разрушают почву и убивают растительность, мешают устойчивому развитию перспективных регионов России. Классификационный анализ относит буровой шлам к 3-му классу опасности [16–18].

В процессе проведения инвентаризационного анализа были определены объем и масса бурового шлама, выбуренного при освоении всех видов скважин с 1970 по 2016 г. (табл. 12). При этом объем выбуренных пород определялся на основании величины общей длины проходки за весь указанный период, средней глубины скважины и диаметров долот (буров). Средние глубины скважин были приняты 2 и 3 тыс. м. Именно такие глубины в среднем имеют скважины в нашей стране.

Буровой шлам после его поднятия на поверхность земли имеет влажность 500–800%, pH=10–12, среднюю плотность 1050–1260 кг/м³, истинную плотность 2,564–2,565 г/см³. В возрасте одного года буровой шлам в естественном состоянии имеет среднюю плотность около 1500 кг/м³.

По расчету, проведенному по данным табл. 12, был определен суммарный объем выбуренных пород при проходке эксплуатационных и поисково-разведочных скважин в 1970–2016 гг. с рядом допущений по конструкциям и глубине скважин, использованным долотам, который составил 40–60 млн м³, или 60–90 млн т. Следует отметить, что в СССР и РФ многие скважины имеют глубину по вертикали более 3 тыс. м. Поэтому накопленную за эти годы массу ТГО в виде отсепарированного и лежалого бурового шлама можно оценить около 100 млн т. Соответственно этот объем занимает большие территории.

В настоящее время проблема захоронения или утилизации бурового шлама в крупнейших нефтегазодобывающих регионах мира является большой экологической и технической проблемой.

В работах [1, 8, 11, 16–18] установлено, что самым рациональным ресурсосберегающим способом размещения техногенных отходов является их утилизация в производстве строительных материалов и изделий. Это позволит высвободить территории, занятые отвалами бурового шлама, и получить эколого-экономический эффект.

Существующие способы складирования и захоронения бурового шлама требуют больших финансовых и материальных затрат, площадей [16–18]. Предлагаемая методика позволяет провести комплексную экологическую оценку масштабной утилизации бурового шлама в производстве строительных изделий, например керамического кирпича.

Комплексная балльная экологическая оценка осуществлялась по минимальным, средним и максимальным негативным воздействиям (1, 2, 3 балла соответственно) на атмосферу, литосферу, биосферу, гидросферу. На основании инвентаризационного анализа общая сумма составила 29 баллов [16–18]. Установлено,

что буровой шлам можно применять в качестве компонента для производства щелевого кирпича полусухого прессования, разработаны его технология и технические условия. Определены усредненные физико-технические свойства бурового шлама: средний размер частиц шлама – 26,2 мкм; коэффициент усушки – 1,05; огневая усадка при $t = 950–1050^{\circ}\text{C}$ – 4,6–6,4%; нижняя граница текучести – 26,4–26,9%; граница раскатывания – 14,3–14,7%; число пластичности – 12,1–12,2%; удельная эффективная активность естественных радионуклидов (по ГОСТ 30108–94) – 270–271 Бк/кг, а также элементный и химический состав (табл. 13), микроструктура (рис. 2).

Буровые шламы содержат некоторое количество бурового раствора, необходимого в процессе бурения скважины. Это следует учитывать при экологической оценке. Буровые шламы большинства нефтегазоконденсатных месторождений (НГКМ) мира имеют практически одинаковые минеральные компоненты в составе. Его основную массу составляют частицы кварца, немного меньше карбонатов в виде кальцита, доломита, арагонита, магнезита, есть небольшое количество полевых шпатов, барита, гипса и ангидрита, слюд и гидрослюд, глинистых минералов в виде бентонита, каолинита, галлуазита, монтмориллонита.

Средний размер частиц бурового шлама 20–30 мкм. Их массовая доля составляет 50–60%. На первом сите отсеивается шлам, который можно отнести к очень крупному строительному песку. Содержание крупных частиц незначительно.

По минеральному и дисперсному составу буровой шлам можно использовать в строительных растворах и сухих смесях, производстве дорожных оснований, тротуарной плитки, кирпича и блоков [16–18].

Были оптимизированы составы формовочной смеси для получения полнотелого керамического кирпича, а также кирпича с 2, 4, 6 и 8 продольными щелями. Свойства кирпича и кладки толщиной 510 мм представлены в табл. 14.

Таблица 14

Технические свойства кирпича на основе бурового шлама и кладки

Число щелей, шт.	Средняя плотность кирпича, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа (марка)	Марка по морозостойкости, циклы	Термическое сопротивление кладки, м ² ·°C/Вт	Увеличение термического сопротивления кладки, раз
0	1805	10,8 (M100)	F75	0,71	–
4	1250	8,6 (M75)	F75	1,9	2,7
8	700	6,2 (M50)	F75	2,3	3,2

Керамический кирпич на основе бурового шлама соответствует ГОСТ 530–2012. Жизненный цикл и технология производства включают: добычу сырьевых компонентов, дозирование компонентов, подготовку формочной смеси, полусухое прессование смеси, сушку отформованного сырца, обжиг сырца, отправку на склад готовой продукции. При использовании бурового шлама температуру обжига возможно снизить.

Была разработана блок-схема жизненного цикла и негативных экологических эффектов размещения бурового шлама и производства кирпича на его основе (рис. 3). Это позволило разработать теоретические положения зависимости негативных экологических эффектов размещения бурового шлама на его жизненный цикл. Определены жизненный цикл шелевого кирпича на основе бурового шлама и технология производства на существующих заводах с традиционными технологическими переделами, полусухим прессованием смеси, обжигом, складированием готовой продукции.

Авторы [16, 18, 19] подсчитали, что, например, на Бованенковском НГКМ в отвалах накоплено около

1,2 млн т бурового шлама. Крупные остатки на ситах можно использовать в производстве фибробетонной смеси для балластирования подводных трубопроводов [16–18].

Таким образом, определены экологические проблемы РФ, связанные с нарастанием объемов ТГО: фосфогипса, белого мрамора, бурового шлама, послеспиртовой барды, молочной сыворотки, тиосульфата натрия при уменьшении доступных запасов минеральных ресурсов недр Земли для производства строительных материалов и изделий. Разработаны научные основы комплексной методики экологической оценки ТГО и их утилизации в производстве материалов и изделий. Обоснована возможность использования указанных техногенных отходов как сырьевых компонентов для производства строительных материалов и изделий при одновременном решении экологических проблем территорий за счет масштабной утилизации ТГО. Это расширяет сырьевую базу и способствует комплексному и бережному освоению недр, их минеральных и техногенных ресурсов. Утилизация ТГО позволяет получить огромный эколого-экономический эффект в масштабах России.

Список литературы

1. Теличенко В.И., Орешкин Д.В. Материаловедческие аспекты геоэкологической и экологической безопасности в строительстве // *Экология урбанизированных территорий*. 2015. № 2. С. 31–33.
2. Мещеряков Ю.Г., Колев Н.А., Федоров С.В., Сучков В.П. Производство гранулированного фосфогипса для цементной промышленности и строительных изделий // *Строительные материалы*. 2009. № 5. С. 104–106.
3. Мещеряков Ю.Г., Федоров С.В. Промышленная переработка фосфогипса. СПб.: Издательство «Стройиздат СПб», 2007. 104 с.
4. Ивочкина М.А. Изучение техногенных отложений в отвалах фосфогипса при переработке исходного формирования свойств сырья различных месторождений // *Инженерный вестник Дона*. Электронный журнал. 2013. № 1. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/nly2013/1535> (дата обращения 10.04.2017).
5. Трубецкой К.Н., Каплунов Д.Р. и др. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья. М.: Наука, 2010. 437 с.
6. Чантурия В.А., Чаплыгин Н.Н., Вигдергауз В.Е. Стратегия сокращения, вторичного использования и переработки отходов горно-промышленного производства в исследованиях Российской академии наук // *Современные проблемы комплексной переработки природного и техногенного сырья*. 2005. С. 230–235.
7. Чаплыгин Н.Н. Основания экологической теории комплексного освоения недр. М.: ИПКОН РАН, 2006. 102 с.
8. Ткач С.А., Теличенко В.И. Решение экологических задач в процессе утилизации техногенных отходов при производстве газобетона // *Экология урбанизированных территорий*. 2016. № 2. С. 39–44.
9. Ткач Е.В., Ткач С.А., Серова Р.Ф., Стасилович Е.А. Получение модифицированных газобетонных изделий на основе отходов промышленности и вторичного сырья // *Современные проблемы науки и образования*. Электронный журнал. 2015. № 1–2. С. 83–88.
10. Соловьев В.И., Серова Р.Ф., Ткач С.А. Исследование пористости цементного камня, модифицированного комплексными органоминеральными модификаторами // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 8 (часть 3). С. 590–595.
11. Землянушнов Д.Ю., Соков В.Н., Орешкин Д.В., Сканави Н.А. Утилизация тонкодисперсных отходов обработки мрамора в производстве лицевого керами-

References

1. Telichenko V.I., Oreshkin D.V. Material aspects of geoecological and environmental safety in construction. *Ecologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2015. No. 2, pp. 31–33. (In Russian).
2. Meshhyarikov Yu.G., Kolev N.A., Fedorov S.V., Suchkov V.P. Production of phosphogypsum for cement industry and building products. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2009. No. 5, pp. 104–106. (In Russian).
3. Meshhyarikov Yu.G., Fedorov S.V. Promyshlennaya pererabotka fosfogipsa [Industrial processing of phosphogypsum]. Saint Petersburg: Stroyizdat SPb. 2007. 104 p.
4. Ivochkina M.A. Study technogenic sediments in phosphogypsum dumps during the processing of the original formation of the various raw materials deposits. *Inzhenernyy vestnik Dona* Electronic journal. 2013. No. 1. <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/nly2013/1535> (date of access 14.04.2017) (In Russian).
5. Trubeckoj K.N., Kaplunov D.R. etc. Kompleksnoe osvoenie mestorozhdenij i glubokaya pererabotka mineral'nogo syr'ya [Integrated development and deep processing of mineral raw materials]. Moscow: Nauka. 2010. 437 p.
6. Chanturiya V.A., Chaplygin N.N., Vigdergauz V.E. Strategy of reduction, reuse and recycling of mining and industrial production in researches of the Russian Academy of Sciences. *Sovremennye problemy kompleksnoy pererabotki prirodnogo i tekhnogennogo syr'ya*. 2005, pp. 230–235. (In Russian).
7. Chaplygin N.N. Osnovaniya ekologicheskoy teorii kompleksnogo osvoeniya nedr [Founding ecological theory of integrated development of mineral resources]. Moscow: IPKON RAN. 2006. 102 p.
8. Tkach S.A., Telichenko V.I. Addressing environmental challenges in the process of disposing of waste in the production of man-made aerated concrete. *Ecologiya urbanizirovannykh territorij*. 2016. No. 2, pp. 39–44. (In Russian).
9. Tkach E.V., Tkach S.A., Serova R.F., Stasilovich E.A. Getting modified concrete products on the base of industrial wastes and secondary raw materials. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. No. 1–2, pp. 83–88. (In Russian).
10. Solov'yov V.I., Serova R.F., Tkach S.A. Researches of porosity of a cement stone, modified complex organomineral modifiers. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2014. No. 8 (Part 3), pp. 590–595. (In Russian).
11. Zemlyanushnov D.Yu., Sokov V.N., Oreshkin D.V., Skanavi N.A. Recycling of fine marble processing waste

- ки // *Вестник ИрГТУ*. 2014. № 9 (92). С. 122–126.
12. Землянушнов Д.Ю., Соков В.Н., Орешкин Д.В. Использование тонкодисперсных отходов обработки мрамора в технологии облицовочной керамики // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2014. № 4. С. 108–114.
 13. Землянушнов Д.Ю., Соков В.Н., Орешкин Д.В. Эколого-экономические аспекты применения тонкодисперсных отходов мрамора в производстве облицовочных керамических материалов // *Вестник МГСУ*. 2014. № 8. С. 118–126.
 14. Moumouni A., Goki N.G., Chaanda M.S. Geological exploration of marble deposits in Toto Area, Nasarawa State, Nigeria // *Natural Resources*. 2016. No. 7, pp. 83–92. <http://dx.doi.org/10.4236/nr.2016.72008>
 15. Рекус И.Г., Шорина О.С. Основы экологии и рационального природопользования. М.: Изд-во МГУП, 2012. 146 с.
 16. Орешкин Д.В., Сахаров Г.П., Чеботаев А.Н., Курбатова А.С. Геоэкологические проблемы утилизации бурового шлама на Ямале // *Вестник МГСУ*. 2012. № 2. С. 125–129.
 17. Oreshkin D.V., Chebotaev A.N., Perfilov V.A. Disposal of drilling sludge in the production of building materials // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 111, pp. 607–611.
 18. Чеботаев А.Н. Возможность утилизации бурового шлама Бованенковского месторождения в производстве строительных материалов // *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2015. № 9. С. 25–28.
 19. Богоявленский В.И. Достижения и проблемы геологоразведки и ТЭК России // *Бурение и нефть*. 2013. № 3. С. 3–7.
 - in the production of front ceramics. *Vestnik IrGTU*. 2014. No. 9 (92), pp. 122–126. (In Russian).
 12. Zemlyanushnov D.Yu., Sokov V.N., Oreshkin D.V. Using fine marble processing waste in the technology of facing ceramics. *Nauchno-tehnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2014. No. 4, pp. 108–114. (In Russian).
 13. Zemlyanushnov D.Yu., Sokov V.N., Oreshkin D.V. Ecological and economic aspects of fine waste of marble in the manufacture of facing ceramic materials. *Vestnik MGSU*. 2014. No. 4, pp. 118–126. (In Russian).
 14. Moumouni A., Goki N.G., Chaanda M.S. Geological Exploration of Marble Deposits in Toto Area, Nasarawa State, Nigeria. *Natural Resources*. 2016. No. 7, pp. 83–92. <http://dx.doi.org/10.4236/nr.2016.72008>.
 15. Rekus I.G., Shorina O.S. Osnovy ekologii i racional'nogo prirodopol'zovaniya [Fundamentals of ecology and environmental management]. Moscow: MGUP Publishing House. 2012. 146 p.
 16. Oreshkin D.V., Saharov G.P., Chebotaev A.N., Kurbatova A.S. Geoecological problem of disposing of drilling sludge on Yamal. *Vestnik MGSU*. 2012. No. 2, pp. 125–129. (In Russian).
 17. Oreshkin D.V., Chebotaev A.N., Perfilov V.A. Disposal of drilling sludge in the production of building materials. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 111, pp. 607–611.
 18. Chebotaev A.N. The possibility of disposing of drilling sludge of Bovanenko field in the production of building materials. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovikh skvazhin na sushe i na more*. 2015. No. 9, pp. 25–28. (In Russian).
 19. Bogoyavlenskiy V.I. Achievements and problems of geological prospecting and the FEC of Russia. *Burenie i nef't*. 2013. No. 3, pp. 3–7. (In Russian).

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



Москва, 6-7 июня 2018 г.

Организаторы:

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

Спонсоры конференции:

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



Тематика симпозиума

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

Место проведения конференции: Российская академия наук, Москва, Россия

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

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

Российский секретариат: Леонид Иванов, региональная группа РИЛЕМ (l.a.ivanov@mail.ru);

Сергей Бронин, Национальная группа ФИБ (bronin@list.ru).

С.И. ПИМЕНОВ, инженер (3.14manon@mail.ru),
Р.А. ИБРАГИМОВ, канд. техн. наук (rusmag007@yandex.com)

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

Влияние минералогического состава цемента при его активации на физико-технические свойства тяжелого бетона

С целью интенсификации твердения цементных композиций в современных исследованиях все чаще находят применение различные способы активаций вяжущего. Механохимическая активация цемента в водной среде является одним из эффективных способов активации вяжущего, совершенствование которого является актуальной задачей. В работе приведены результаты исследования влияния минералогического состава портландцемента, подверженного механохимической активации в водной среде в роторно-пульсационном аппарате, на физико-технические свойства тяжелого бетона. Установлено, что применение портландцементов разных производств не влияет на технологические свойства бетонной смеси, полученной из активированной цементной суспензии, но влияет на кинетику твердения тяжелого бетона с получением более высокой ранней прочности при применении портландцемента, содержащего повышенное количество алюминатной фазы.

Ключевые слова: механохимическая активация, портландцемент со шлаком, суперпластификатор, добавка на поликарбоксилатной основе.

Для цитирования: Пименов С.И., Ибрагимов Р.А. Влияние минералогического состава цемента при его активации на физико-технические свойства тяжелого бетона // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 64–67.

S.I. PIMENOV, Engineer (3.14manon@mail.ru), R.A. IBRAGIMOV, Candidate of Sciences (Engineering) (rusmag007@yandex.com)
Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Russian Federation)

Influence of Mineralogical Composition of Cement When Activating It on Physical-Technical Properties of Heavy Concrete

To intensify the hardening of cement compositions, various methods for activation of a binder are increasingly used in modern investigations. The mechanical-chemical activation of cement in the water media is one of efficient methods for activating the binder and its improvement is an actual task. The article presents the results of the study of influence of the mineralogical composition of Portland cement, subjected to the mechanical-chemical activation in the water media in the rotary-pulsed apparatus, on the physical-technical properties of heavy concrete. It is established that the use of Portland cements of different productions does not influence on the technological properties of the concrete mix produced from the activated cement suspension, but influences on the kinetics of hardening of heavy concrete when using the Portland cement containing the increased amount of the aluminate phase.

Keywords: mechano-chemical activation, Portland cement with sludge, superplasticizer, additive on polycarboxylate base.

For citation: Pimenov S.I., Ibragimov R.A. Influence of mineralogical composition of cement when activating it on physical-technical properties of heavy concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 64–67. (In Russian).

В современном монолитном строительстве высотных зданий, зданий повышенной этажности, а также при часто происходящих случаях срывов срока строительства важно применять бетоны с высокой ранней прочностью, позволяющие значительно сокращать продолжительность их выдерживания в опалубке [1, 2].

С целью интенсификации гидратации цемента и ускорения твердения цементного камня еще в середине прошлого века ученые интенсивно исследовали различные способы активации вяжущего, отличающиеся природой воздействия – химической, физической и механической. В современных исследованиях все чаще находят применение комбинации данных способов активаций: физико-химический, механофизический, механохимический, а также физико-механохимический [3–6] и др.

Механохимическая активация (МХА) является одним из эффективных способов активации вяжущего, который позволяет интенсифицировать процесс гидратации цемента путем сокращения индукционного периода и поддержания высокой концентрации продуктов гидратации в растворе до завершения процесса кристаллизации [7, 8].

Необходимо отметить преимущества в продолжительности и энергетической эффективности механохимической активации цемента в водной среде по сравнению с активацией в сухой среде [9, 10], несмот-

ря на проблемность и сложность изучения процессов гидратации цемента, так как эти процессы начинают протекать одновременно с диспергацией цементной суспензии, находясь в динамическом состоянии. В связи с этим влияние механохимической активации цементной суспензии на структурообразование и твердение цементного камня является до сих пор недостаточно изученным вопросом. Остаются нераскрытыми вопросы влияния минералогического состава вяжущего, а также влияние химической основы суперпластифицирующих добавок, с которыми производится МХА цементной суспензии, на эффективность диспергирования и физико-механические свойства твердеющих цементных композиций.

В связи с этим целью настоящего исследования является изучение влияния минералогического состава вяжущего на технологические свойства бетонной смеси и физико-механические свойства тяжелого бетона, полученных МХА цементной суспензии.

Для приготовления бетонной смеси использовали следующие материалы.

Портландцементы со шлаком марки ЦЕМ II/A-Ш 32,5Н (ОАО «Вольскцемент» Саратовской обл. и ЗАО «Ульяновскцемент» г. Ульяновска), отвечающие требованиям ГОСТ 31108–2016. Химический и минералогический состав портландцементов приведен в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Вид портландцемента	Химический состав, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Щелочи	CaO _{св}
Вольский	22,55	4,75	4,7	65,04	1,73	0,21	0,62	0,16
Ульяновский	22,1	5	9	64	0,92	0,94	1,01	0,27

Таблица 2

Вид портландцемента	Содержание основных минералов, %				Содержание добавок, %	
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Гранул. доменный шлак	SO ₃
Вольский	57	21	4,6	14	8	2,2
Ульяновский	54	20	11	12	9,2	2,8

Выбор портландцемента средней марки со шлаком обусловлен его высокой эффективностью использования для МХА в водной среде [5, 11], а также необходимостью развития природоохранных технологий [12, 13].

В качестве мелкого заполнителя при изготовлении экспериментальных образцов использовался песок Камско-Устьинского месторождения, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 8736–2014, с модулем крупности 2,7.

В качестве крупного заполнителя при изготовлении образцов использовался гранитный щебень Уральского месторождения фракции 5–20 мм.

В качестве суперпластифицирующей добавки была выбрана добавка на поликарбоксилатной основе – Remicrete SP60 (производство Schomburg). В современных исследованиях применение суперпластифицирующей добавки на поликарбоксилатной основе в комплексе с различными органическими или минеральными добавками обеспечивает получение высокопрочных и высококачественных бетонов [2, 8, 14, 15].

Диспергацию и активацию цементной суспензии проводили в роторно-пульсационном аппарате (РПА), выпускаемом по ТУ 5132–001–70447062, с частотой вращения ротора 2900 об/мин, при этом энергонапряженность рабочей зоны составила не менее 20 кВт/м³.

Для исследования были выбраны следующие составы тяжелого бетона (с описанием особенностей приготовления бетонной смеси):

1 – контрольный состав (приготовленный без добавки и без активации цементной суспензии путем обычного перемешивания расчетного количества портланд-

цемента, мелкого и крупного заполнителя, воды);

2 – с механоактивацией цементной суспензии (предварительно 50% расчетного количества портландцемента перемешивалось с расчетным количеством воды затворения, затем полученную суспензию загружали в бункер РПА и подвергали циклической обработке в течение 2 мин; после обработки суспензия выгружалась и перемешивалась с крупным и мелким заполнителем и оставшейся частью портландцемента до получения бетонной смеси в течение 5 мин);

3 – с добавкой Remicrete SP60 (обычное перемешивание всех

необходимых компонентов бетонной смеси с введением добавки в количестве 1% от массы портландцемента с водой затворения);

4 – с МХА цементной суспензии (предварительно 50% расчетного количества портландцемента перемешивалось с расчетным количеством воды затворения, содержащей добавку Remicrete SP60 в количестве 1% от массы портландцемента; затем полученную суспензию загружали в бункер РПА и подвергали циклической обработке в течение 2 мин; после обработки суспензия выгружалась и перемешивалась с крупным и мелким заполнителями и оставшейся частью портландцемента до получения бетонной смеси в течение 5 мин).

Количество исходных компонентов бетонной смеси применялось следующее: портландцемент – 490 кг/м³, песок – 595 кг/м³, щебень – 1140 кг/м³. Количество воды затворения применялось для получения одинаковой подвижности бетонных смесей марки П2 (ОК=7–9 см). Бетонные смеси приготавливались как на цементе Ульяновского завода, так и на цементе Вольского завода.

Технологические свойства бетонной смеси определялись в соответствии с ГОСТ 10181–2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний».

Предел прочности при сжатии бетонных образцов производились на образцах 10×10×10 см по методике ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

Показатель pH жидкой фазы цементной суспензии определялся с помощью pH-метра Testo 206-pH1.

На рис. 1, 2 приведены результаты исследования влияния МХА цементной суспензии на сохраняемость подвижности бетонной смеси.

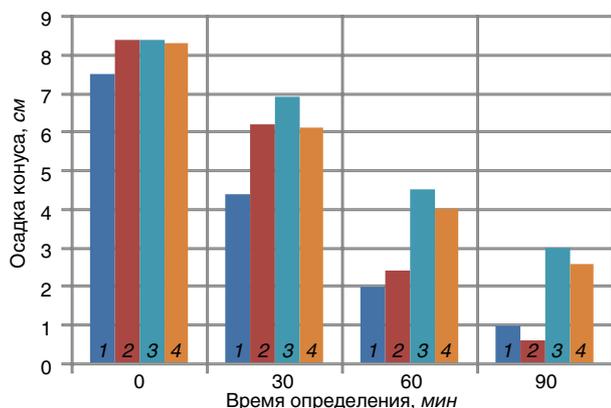


Рис. 1. Изменение подвижности бетонной смеси на цементе Ульяновского завода: 1–4 – составы бетонной смеси

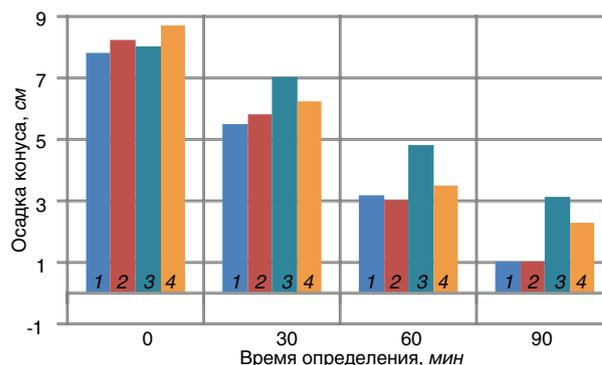


Рис. 2. Изменение подвижности бетонной смеси на цементе Вольского завода: 1–4 – составы бетонной смеси

Таблица 3

Состав	В/Ц	Плотность бетонной смеси, кг/м ³	Воздухосодержание бетонной смеси, %	Температура бетонной смеси, °С	рН	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте		
						1 сут	3 сут	28 сут
1	$\frac{0,42}{0,41}$	$\frac{2389}{2395}$	$\frac{1,05}{1,34}$	$\frac{21,6}{21,7}$	$\frac{11,57}{11,37}$	$\frac{7,1}{6,24}$	$\frac{19,57}{16,49}$	$\frac{40,53}{42,85}$
2	$\frac{0,42}{0,41}$	$\frac{2424}{2438}$	$\frac{0,94}{0,79}$	$\frac{22,7}{22,8}$	$\frac{12,05}{11,72}$	$\frac{13,76}{10,83}$	$\frac{29,01}{24,15}$	$\frac{46,15}{45,07}$
3	$\frac{0,3}{0,29}$	$\frac{2476}{2474}$	$\frac{0,69}{0,85}$	$\frac{22}{21,5}$	$\frac{11,74}{11,52}$	$\frac{12,32}{9,87}$	$\frac{31,89}{30,95}$	$\frac{57,55}{59,6}$
4	$\frac{0,3}{0,29}$	$\frac{2472}{2481}$	$\frac{0,7}{0,65}$	$\frac{23,5}{23,4}$	$\frac{11,89}{11,75}$	$\frac{19,62}{15,11}$	$\frac{45,01}{34,77}$	$\frac{65,72}{63,45}$

Примечание. Над чертой приведено среднее значение показателя на цементе Ульяновского завода; под чертой – Вольского завода.

Измерения проводились сразу и через 30, 60 и 90 мин после приготовления бетонной смеси. По данным рис. 1, 2 видно, что подвижность бетонной смеси составов 1, 2 через 90 мин после приготовления бетонных смесей снижается на 85–92%, примерно одинаково на обоих видах цемента. Подвижность смесей составов 3, 4 изменяется медленнее и через 90 мин после приготовления бетонных смесей снижается на 60–70%.

В табл. 3 приведены некоторые технологические свойства бетонной смеси исследуемых составов при применении двух видов портландцемента, а также пределы прочности при сжатии твердеющего тяжелого бетона.

По анализу данных рис. 1, 2 и табл. 3 можно отметить, что применение портландцементов разных производств (Ульяновского и Вольского заводов) одного типа не влияет на технологические свойства бетонной смеси, полученной МХА цементной суспензии, однако влияет на кинетику твердения тяжелого бетона с получением более высокой ранней прочности бетона при применении цемента Ульяновского завода, отличающегося повышенным содержанием алюминатной фазы. При этом

увеличивается предел прочности при сжатии тяжелого бетона в возрасте 1 сут в 2,77 раза, в возрасте 3 сут – в 2,3 раза по сравнению с контрольным составом. На портландцементе Вольского завода предел прочности при сжатии тяжелого бетона увеличивается в возрасте 1 сут в 2,42 раза, в возрасте 3 сут – в 2,1 раза по сравнению с контрольным составом.

Выводы.

Для получения бетонов с высокой ранней прочностью при применении МХА цементной суспензии целесообразнее и эффективнее применять портландцементы с повышенным содержанием трехкальциевого алюмината, например портландцемент Ульяновского завода. Значительное повышение предела прочности при сжатии тяжелого бетона путем МХА цементной суспензии с суперпластифицирующей добавкой обусловлено диспергирующим воздействием на цементную суспензию, приводящим к уплотнению пор и капилляров в цементном камне, обуславливающих образование более однородной и плотной структуры твердеющего бетона.

Список литературы

1. Сленьков В.А., Минаков Ю.А., Кононова О.В., Анисимов С.Н., Смирнов А.О., Лешканов А.Ю. Эффективность применения пластифицирующих добавок в производстве тяжелого бетона // *Современные проблемы науки и образования*. 2015. № 2. С. 244.
2. Кирсанова А.А., Крамар Л.Я. Органоминеральные модификаторы на основе метакаолина для цементных бетонов // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 54–56.
3. Селяев В.П., Низина Т.А., Балбабин А.В. Анализ влияния механоактивации на свойства цементных смесей с полифункциональными добавками // *Вестник ВРО РААСН*. 2014. Вып. 17. С. 203–208.
4. Ибрагимов Р.А., Изотов В.С. Влияние механохимической активации вяжущего на физико-механические свойства тяжелого бетона // *Строительные материалы*. 2015. № 5. С. 17–19.
5. Гусев Б.В., Ин И.Л.С., Кривобородов Ю.Р. Активация твердения шлакопортландцемента // *Технологии бетонов*. 2012. № 7–8 (72–73). С. 21–24.
6. Кривобородов Ю.Р., Ясько Д.А. Активация цемента для улучшения свойств бетона // *Новая наука: Проблемы и перспективы*. 2015. № 3. С. 105–108.
7. Ibragimov R.A., Pimenov S.I., Kiyamov I.K., Mingazov R.H., Kiyamova L.I. Comparison of the effect of superplasticizing admixtures on the processes of cement hydration during mechanochemical activation // *Eastern-*

References

1. Slen'kov V.A., Minakov Yu.A., Kononova O.V., Anisimov S.N., Smirnov A.O., Leshkanov A.Yu. The effectiveness of the use of plasticizing additives in the production of heavy concrete. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. No. 2, p. 244. (In Russian).
2. Kirsanova A.A., Kramar L.Ya. Organomineral modifiers on the basis of meta-kaolin for cement concretes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 11, pp. 54–56. (In Russian).
3. Selyaev V.P., Nizina T.A., Balbalin A.V. Analysis of the influence mechanical activation on the properties of cement mixtures with multifunctional additives. *Vestnik VRO RAASN*. 2014. Vol. 17, pp. 203–208. (In Russian).
4. Ibragimov R.A., Izotov V.S. Influence of mechanochemical activation of a binder on physical-chemical properties of heavy-weight concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 5, pp. 17–19. (In Russian).
5. Gusev B.V., In I.L.S., Krivoborodov Yu.R. Activation of slag Portland cement hardening. *Tekhnologii betonov*. 2012. No. 7-8 (72-73), pp. 21–24. (In Russian).
6. Krivoborodov Yu.R., Yas'ko D.A. Activation of cement to improve the properties of concrete. *Novaya nauka: Problemy i perspektivy*. 2015. No. 3, pp. 105–108. (In Russian).
7. Ibragimov R.A., Pimenov S.I., Kiyamov I.K., Mingazov R.H., Kiyamova L.I. Comparison of the effect of superplasticizing admixtures on the processes of cement hydration during mechanochemical activation. *Eastern-*

- European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4. No. 6 (82), pp. 56–63.
8. Гусев Б.В. Наноструктурирование бетонных материалов // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 1. С. 7–10.
 9. Гурьянов Г.А., Клименко Е.А., Васильева О.Ю. Улучшение процесса приготовления и качества бетона на основе анализа способов активации цемента // *Транспорт. Транспортные сооружения. Экология*. 2015. № 1. С. 23–40.
 10. Глухарев Н.Ф. Сухое измельчение в условиях электронеитализации. СПб.: Издательство Политехнического университета, 2014. 192 с.
 11. Совалов И.Г., Хаютин Ю.Г. Методы активации цемента и влияние активации на свойства бетонов. М.: ЦБТИ НИИОМТП, 1963. 41 с.
 12. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Стоянов О.В. Геополимеры // *Вестник Казанского технологического университета*. 2014. Т. 17. № 23. С. 189–196.
 13. Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р. Отходы промышленности и экологическая безопасность строительства и городского хозяйства // *Научный журнал строительства и архитектуры*. 2015. № 2. С. 97–102.
 14. Калашников В.И., Тараканов О.В., Кузнецов Ю.С., Володин В.М., Белякова Е.А. Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-порошковых смесей // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 8. С. 47–53.
 15. Калашников В.И. Что такое порошково-активированный бетон нового поколения // *Строительные материалы*. 2012. № 10. С. 70–71.
- European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4. No. 6 (82), pp. 56–63.
8. Gusev B.V. Nanostructuring of concrete materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 1, pp. 7–10. (In Russian).
 9. Gur'yanov G.A., Klimenko E.A., Vasil'eva O.Yu. Improved cooking process and the quality of concrete through activation analysis methods cement. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya*. 2015. No. 1, pp. 23–40. (In Russian).
 10. Glukharev N.F. Sukhoe izmel'chenie v usloviyakh elektroneitralizatsii [Dry milling under electrical neutralization]. Saint Petersburg: Publishing house of Polytechnic University. 2014. 192 p.
 11. Sovalov I.G., Khayutin Yu.G. Metody aktivatsii tsementov i vliyanie aktivatsii na svoystva betonov [Activation methods of cement and the influence of activation on properties of concrete]. Moscow: TsBTI NIOMTP. 1963. 41 p.
 12. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Stoyanov O.V. Geopolymers. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2014. Vol. 17. No. 23, pp. 189–196. (In Russian).
 13. Rakhimov R.Z., Rakhimova N.R., Khaliullin M.I., Gaifullin A.R. Industrial wastes and environmental safety of construction and municipal economy. *Nauchnyi zhurnal stroitel'stva i arkhitektury*. 2015. No. 2, pp. 97–102. (In Russian).
 14. Kalashnikov V.I., Tarakanov O.V., Kuznetsov Yu.S., Volodin V.M., Belyakova E.A. Concrete of a new generation on the basis of dry fine-grained powder mixtures. *Inzhenerno-stroitel'nyi zhurnal*. 2012. No. 8, pp. 47–53. (In Russian).
 15. Kalashnikov V.I. What is the powder-activated concrete of new generation. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2012. No. 10, pp. 70–71. (In Russian).



НАЦИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ АВТОКЛАВНОГО ГАЗОБЕТОНА

22–24 ноября 2017 г. Екатеринбург

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СОВРЕМЕННЫЙ АВТОКЛАВНЫЙ ГАЗОБЕТОН



Соорганизатор



Генеральный спонсор компания



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

- Развитие отрасли автоклавного газобетона в условиях спада строительства. Статистика производства. Место на рынке стеновых материалов. Прогноз развития рынка АГБ. Особенности производства и применения на постсоветском пространстве.
- Продажи в условиях кризиса. Стратегия продвижения ячеистого бетона в условиях развития конкурентных стеновых материалов. Конкуренция внутри отрасли. Развитие методик продаж.
- Оптимизация производства автоклавного газобетона. Применение новых материалов, оборудования и технологий, позволяющих сократить производственные издержки и повысить качество выпускаемой продукции. Информационные технологии как инструмент для оптимизации производства.
- Расширение номенклатуры выпускаемой продукции. Новая продукция из автоклавного газобетона. Изменение формы блока с целью повышения герметичности кладки. Плиты и перемычки из АГБ. Теплоизоляционные ячеистые бетоны автоклавно-твердения: особенности производства, существующие и потенциальные области применения. Сборно-монолитные перекрытия с внешним армированием растянутой зоны тонкостенной несъемной опалубкой.

- Совершенствование методов испытания автоклавного газобетона. Оценка прочности при испытании блоков, уточнение масштабных коэффициентов.
- Исследование процессов формирования газобетонной структуры. Изучение физических процессов, протекающих при автоклавной обработке газобетона. Модификация состава и структуры введением комплексных добавок.
- Проблемы применения автоклавного газобетона. Изучение трещинообразования в конструкциях из автоклавного газобетона, выработка методов повышения трещиностойкости. Применение в помещениях с влажными и мокрыми режимами эксплуатации. Армирование кладки из АГБ. Материалы для армирования.
- Пенополиуретановый клей как альтернатива цементно-песчаным смесям. Опыт применения и ассортимент ППУ-составов. Оценка прогнозной долговечности ППУ кладочного шва в АГБ кладке. Прочностные и деформационные характеристики кладки АГБ на пенополиуретановом клее.
- Изменение нормативной базы производства и применения АГБ.

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

Формирование структуры цементного камня при гидратации и твердении гидрокарбонатного магнезиального вяжущего

Представлены результаты исследования процесса структурообразования при твердении нового водостойкого гидравлического магнезиального вещества – гидрокарбонатного магнезиального вяжущего. Повышение водостойкости и придание гидравлических свойств магнезиальному цементу связаны с применением принципиально новой жидкости затворения – раствора бикарбоната магния. Использование данного раствора позволяет твердеть магнезиальной композиции не только на воздухе, но и в воде. Коэффициент водостойкости, который соответствует коэффициенту гидратационного твердения, составляет до 3,6. При затворении магнезиальных вяжущих водным раствором бикарбоната магния основными продуктами твердения являются гидроксид магния и гидрокарбонаты магния. Гидрокарбонаты магния нерастворимы в воде, что обеспечивает повышенную водостойкость магнезиальных композиций и возможность их твердения и набора прочности в воде.

Ключевые слова: магнезиальное вяжущее, водостойкость, твердение в воде, раствор бикарбоната магния, гидрокарбонаты магния.

Для цитирования: Митина Н.А., Лотов В.А. Формирование структуры цементного камня при гидратации и твердении гидрокарбонатного магнезиального вяжущего // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 68–73.

N.A. MITINA, Candidate of Sciences (Engineering) (mitinana@tpu.ru), V.A. LOTOV, Doctor of Sciences (Engineering) (valotov@tpu.ru)
National Research Tomsk Polytechnic University (30, Lenina Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation)

Formation of Cement Stone Structure at Hydration and Hardening of a Hydrocarbonate Magnesium Binder

Results of the study of the structure formation process when hardening a new water-resistant hydraulic magnesium substance – a hydrocarbonate magnesium binder – are presented. Improvement of the water resistance and giving hydraulic properties to the magnesium cement is connected with the use of a principally new gauging liquid – magnesium bicarbonate. The use of this solution allows hardening of a magnesium composition not only in the air but also in water. The water-resistance coefficient which corresponds to the coefficient of hydration hardening is up to 3.6. When gauging magnesium binders with the water solution of magnesium bicarbonate, main products of hardening are magnesium hydroxide and magnesium hydrocarbonates. Magnesium hydrocarbonates are insoluble in water that provides the improved water resistance of magnesium compositions and the possibility of their hardening and maturing in water.

Keywords: magnesium binder, water resistance, hardening in water, magnesium bicarbonate solution, magnesium hydrocarbonates.

For citation: Mitina N.A., Lotov V.A. Formation of cement stone structure at hydration and hardening of a hydrocarbonate magnesium binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 68–73. (In Russian).

Обладая многими полезными и уникальными свойствами, классическое магнезиальное вяжущее, затворяемое растворами солей магния, является вяжущим с низкой водостойкостью, которая ограничивает использование материалов на его основе. Низкая водостойкость изделий на основе магнезиального вяжущего связана с образованием водорастворимых кристаллогидратов – тригидроксидхлорида ($3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) или тригидроксисульфата ($3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) магния, которые возникают при использовании в качестве жидкости затворения растворов соответствующих солей магния.

Для повышения водостойкости применяются различные методы начиная с изменения состава и концентрации жидкости затворения магнезиального вяжущего и применения совместно растворов хлоридов и сульфатов магния [1, 2]. Также установлено, что введение в состав цементного теста добавок ионов трехвалентного железа в виде тонкоизмельченной железной руды с содержанием трехвалентного оксида железа до 65%, а также золя гидроксида железа в составе модифицирующей добавки [3] положительно влияет на повышение водостойкости магнезиального камня. Использование добавок силикатсодержащих магнезиальных пород, таких как серпентинит и диопсид, также улучшает водостойкость магнезиального цемента [4, 5].

Повышение водостойкости возможно и при взаимодействии атмосферного углекислого газа с гидроксидом магния, в результате чего на частицах кристаллогидратов образуется поверхностный слой хлоркарбоната магния $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{MgCO}_3 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ [6],

который замедляет выщелачивание хлорида магния из цемента [7].

Приведенные способы повышения водостойкости магнезиального цемента и изделий на его основе не исключают образования в продуктах гидратации и твердения водорастворимых веществ, так как основаны на применении в качестве жидкости затворения растворов солей магния. Радикальным способом повышения водостойкости магнезиального цемента является синтез в продуктах твердения магнезиального вяжущего нерастворимых в воде соединений, что возможно только при полной замене жидкости затворения. Следовательно, основополагающую роль в композициях магнезиального вяжущего играет жидкость затворения.

В ходе предварительных исследований [8] была выбрана принципиально новая жидкость затворения – раствор бикарбоната магния. При затворении данным раствором каустических магнезиальных порошков в продуктах гидратации вяжущего отсутствуют растворимые в воде соединения, что позволяет сделать вывод о повышенной водостойкости магнезиального цементного камня и его гидравлических свойствах.

При взаимодействии каустического магнезита с водным раствором бикарбоната магния в первую очередь протекает реакция гидратации:

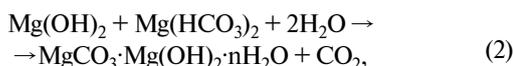


Образовавшийся гидроксид магния далее взаимодействует с бикарбонатом магния с образованием гидрата гидроксикарбоната магния и диоксида углерода:

Таблица 1

Материал	Содержание оксидов, мас. %							
	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MnO	Δ m _{пр}	Сумма
Магнезит исходный	46,88	1,6	0,59	0,85	0,8	0,29	48,29	100
Каустический магнезит	75,64	3,18	0,62	4,24	0,83	0,32	16,85*	100

Примечание. * ППП каустического магнезита, обожженного при 800°C, связаны с наличием неразложившегося MgCO₃ с дефектной структурой.



а полученный в результате реакции (2) диоксид углерода вступает во взаимодействие с избытком гидроксида магния, образуя вторичный бикарбонат магния:



Вторичный бикарбонат магния вновь взаимодействует с гидроксидом магния по реакции (2) 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.

Целью настоящих исследований явилось изучение процессов формирования структуры при гидратации магнезиальных вяжущих с использованием водного раствора бикарбоната магния. Для этого определяли состав и структуру новообразований, появляющихся при взаимодействии каустического магнезиального порошка с водным раствором бикарбоната магния, и установили взаимосвязь структурообразования с нарастанием прочности магнезиального камня.

Объектом исследования являлось магнезиальное вяжущее из каустического магнезита, затворенное раствором бикарбоната магния. Также для сравнения проводили испытания классического магнезиального вяжущего, в котором использовали раствор хлорида магния.

В работе использовался каустический магнезит марки ПМК-75 на основе магнезитовой породы Савинского месторождения (Иркутская обл.) с содержанием активного MgO 75,64 мас. % (табл. 1). Каустический магнезит получен обжигом магнезитовой породы при температуре 800°C на предприятии ООО «Сибирские порошки» (г. Иркутск).

Раствор бикарбоната магния Mg(HCO₃)₂ получали с помощью искусственной карбонизации разбавленной суспензии MgO при давлении CO₂ 9 атм в автоклаве при температуре 25°C [9, 10]. С целью активации процесса карбонизации использовалась добавка карбоната натрия (каустической соды) в количестве 2,5% от массы каустического магнезиального порошка. Для более эффективного протекания процесса автоклав снабжен мешалкой, которая перемешивает раствор сразу после подачи газа. Время карбонизации 20 мин. По данным [10] указанное давление газа CO₂ позволяет получать на основе суспензии оксида магния бруситового происхождения раствор бикарбоната магния с высокой концентрацией бикарбонат-ионов до 6224 мг/л. Раствор хлорида магния MgCl₂ применяли с плотностью 1,2 г/см³.

Фазовый состав продуктов гидратации и твердения определяли с помощью рентгенофазового анализа. Рентгенограммы получены на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD 7000 с использованием излучения Cu-анода, шаг сканирования 2°/мин, время измерения интенсивности в точках сканирования 1 с, напряжение на трубке 40 кВ, сила тока 30 мА.

Структуру новообразований и морфологию поверхности образцов исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL 6000. Съемку образцов проводили при следующих режимах: ускоряющее напряжение электронного пучка 10–15 кВ, рабочее расстояние съемки 20–50 мм и увеличение до 10 тыс. раз в условиях низкого и высокого вакуума.

Пластическую прочность образцов магнезиального цемента с классической жидкостью затворения и с раствором бикарбоната магния в разные сроки твердения определяли с помощью конического пластометра Ребиндера с углом конуса 60°. Прочность при сжатии в более позднем возрасте определяли с помощью пресса ПГМ-100МГ4 в соответствии с ГОСТ 310.4 [11].

Образование гидрокарбонатов магния различного состава, нерастворимых в воде, определяет гидравлическую – способность твердеть в воде магнезиальной вяжущей системы. Этот показатель можно оценить с помощью коэффициента гидратационного твердения, который определяется по отношению прочности при сжатии образцов, твердевших в воде, к прочности при сжатии образцов, твердевших на воздухе.

Термоанализ (ТГ/ДСК) проб магнезиального вяжущего в разные сроки твердения проводили с помощью термоанализатора для синхронного термического анализа NETZSCH STA 449 F3 Jupiter. Исследование про-

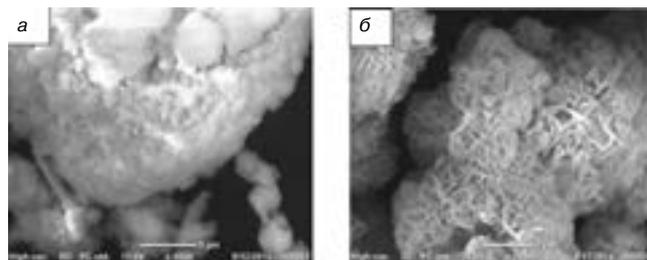


Рис. 1. Структура магнезиального вяжущего с раствором бикарбоната магния: а – 1 ч гидратации; б – 12 ч гидратации

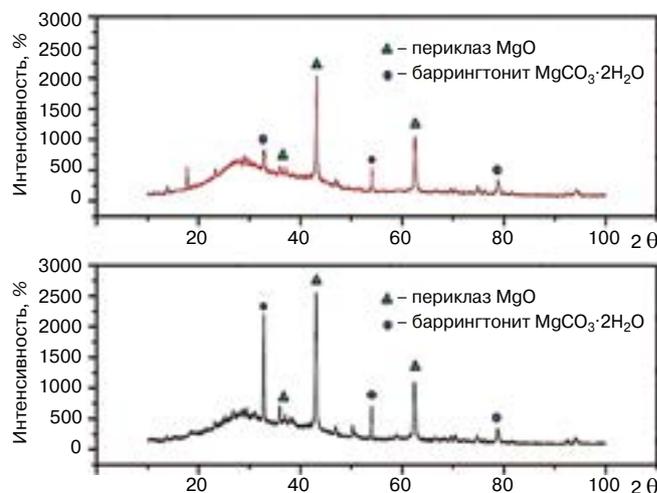


Рис. 2. Рентгенограммы магнезиального вяжущего с раствором бикарбоната магния: а – 1 ч гидратации; б – 12 ч гидратации

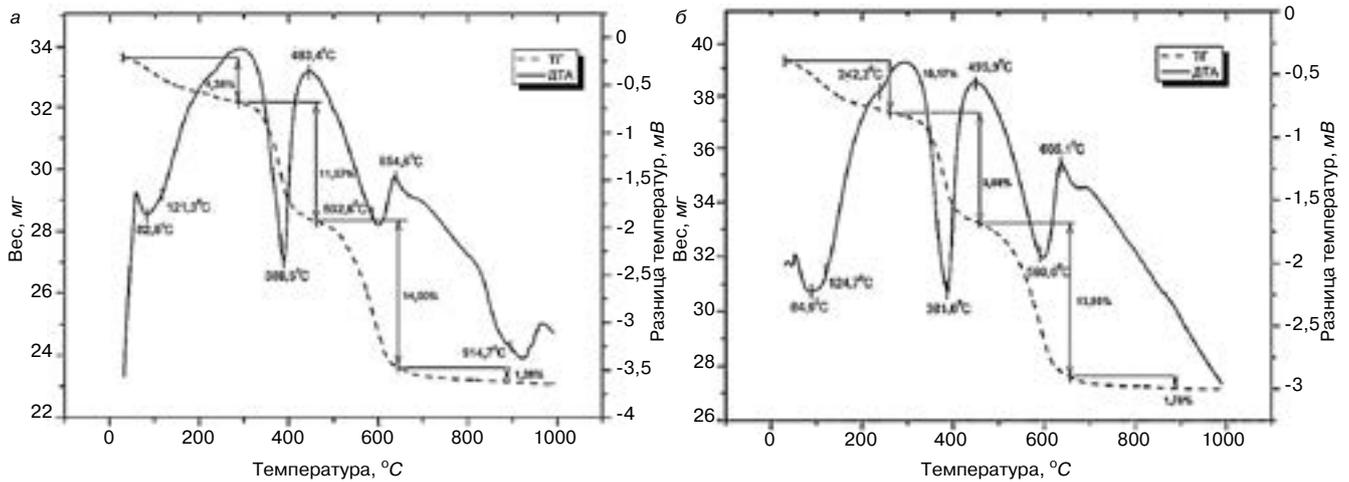


Рис. 3. Термограмма магнезильного вяжущего с раствором бикарбоната магния: а – 1 ч твердения; б – 24 ч твердения

водилось до температуры 1000°C в воздушной среде, скорость подъема температуры 10°/мин.

Свойства материалов и изделий на основе минеральных вяжущих веществ напрямую зависят от структуры и свойств продуктов гидратации и твердения. Процесс гидратации магнезильных вяжущих носит гидратационно-реакционный характер независимо от применяемой жидкости затворения, кроме воды. Так, в начальный момент взаимодействия каустического магнезита с растворами солей происходит гидратация MgO с образованием Mg(OH)₂ согласно реакции (1). Далее MgO или Mg(OH)₂ реагируют с анионами растворенных солей с получением в продуктах реакции гидратных комплексных соединений.

При использовании раствора бикарбоната магния в качестве жидкости затворения гидроксид магния, образованный по реакции (1), взаимодействует с бикарбонат-ионами с образованием гидрокарбонатов, различных по составу. Гидрокарбонаты магния имеют кристаллическую структуру, от кристаллов неправильной формы (баррингтонит MgCO₃·2H₂O [12], лансфордит MgCO₃·5H₂O [13]) до листоватых пластинчатых (гидромагнезит Mg₅(CO₃)₄(OH)₂·4H₂O [14]) и удлиненных столбчатых (несквигонит Mg(HCO₃)(OH)·2H₂O [13], диппингит Mg₅(CO₃)₄(OH)₂·5H₂O [15]) кристаллов.

Для установления структуры и фазового состава новообразований при гидратации магнезильных вяжущих были приготовлены суспензии с водотвердым отношением В/Т=10 для обеспечения более полного про-

текания процессов гидратации. Полученная суспензия выдерживалась в течение 1 и 12 ч при постоянном перемешивании. Затем твердая часть суспензии отделялась от избытка жидкости фильтрованием, твердый остаток высушивали и дезагрегировали.

Результаты электронно-микроскопического анализа (рис. 1, а) высушенных гидратированных порошков на основе каустического магнезита после одного часа взаимодействия с раствором бикарбоната магния показывают наличие непрореагировавших частиц оксида магния, слабоакристаллизованной аморфной массы гидроксидов магния, а также спутанно-волокнистые слабоакристаллизованные образования баррингтонита, что подтверждают рентгенофазовые исследования.

На рентгенограмме гидратированного в течение одного часа порошка (рис. 2, а) можно увидеть характерное гало, соответствующее аморфной фазе гидроксида магния и гидрокарбонатов магния. После 12 ч гидратации суспензии магнезильного вяжущего с раствором бикарбоната магния (рис. 1, 2, б) закристаллизованность продуктов взаимодействия возрастает, но наличие аморфного гало сохраняется. При большом увеличении обнаруживаются листоватые пластинчатые кристаллы, собранные в розетки, которые соответствуют гидромагнезиту и диппингиту [16, 17]. Данные образования находятся в слабоакристаллизованном виде и поэтому на рентгенограмме не проявляются.

Для подтверждения наличия в продуктах гидратации магнезильного вяжущего с водным раствором

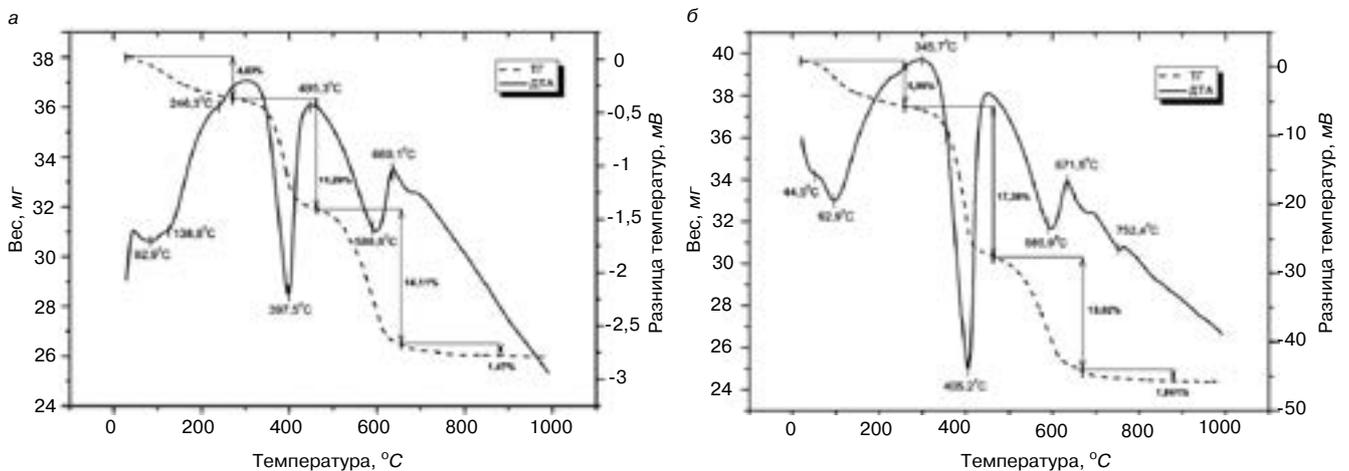


Рис. 4. Термограмма магнезильного вяжущего с раствором бикарбоната магния после 28 сут твердения: а – в воздушной среде; б – в воде

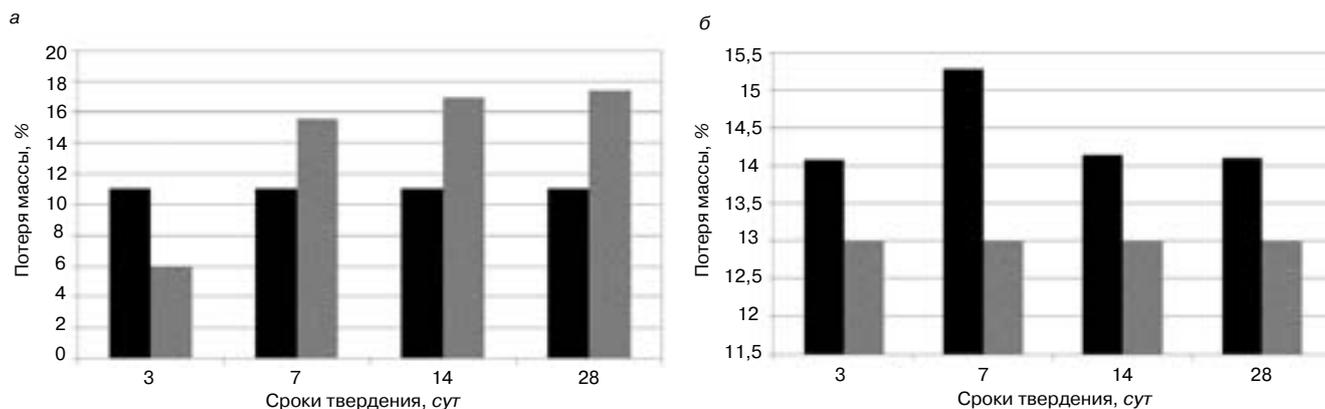


Рис. 5. Зависимость потери массы продуктов твердения при нагревании от условий и сроков твердения: а – в интервале температуры 380–410°C; б – в интервале температуры 580–590°C: ■ – воздушные условия; ■ – водные условия

бикарбоната магния гидрокарбонатных фаз был проведен термический анализ исследуемых проб. При этом термограммы снимались после 1 и 24 ч твердения образцов на воздухе при температуре 20°C (рис. 3), а также после 28 сут твердения в воздушных условиях и в воде (рис. 4).

Все представленные термограммы имеют характерные эндотермические эффекты. При температуре до 92–138°C происходит удаление свободной и адсорбционной воды. Небольшой слабовыраженный эндотермический пик при 242–246°C соответствует удалению кристаллизационной воды из гидрокарбонатов магния. Интенсивный пик с температурой 380–410°C свидетельствует о процессе отщепления гидроксогруппы от гидроксида магния, сформированного в ходе разложения и имеющегося в составе гидрокарбоната. Этот процесс продолжается практически до 500°C. Эндозффект в промежутке от 580 до 590°C характеризует процесс декарбонизации карбоната магния, входящего в состав разлагающегося гидрокарбоната. Небольшой эндозффект при 690–750°C свидетельствует о декарбонизации сформированной частицы карбоната магния [18]. Необходимо отметить, что магнезиальные вяжущие с бикарбонатом магния, твердеющие разное время и в различных условиях, имеют сходный фазовый состав, отличаясь лишь количеством продуктов гидратации.

При исследовании процесса термического разложения продуктов твердения магнезиального вяжущего, затворенного раствором бикарбоната магния, выделены два основных температурных интервала потери массы – процесс разложения гидроксогруппы в составе гидрокарбонатов магния при 380–410°C и потери массы при декарбонизации $MgCO_3$ при температуре 580–590°C. По величине потерь массы в данных температурных интервалах можно судить о концентрации продуктов гидратации магнезиального вяжущего, а следовательно, об интенсивности его твердения. В разные сроки и в разных условиях твердения значения потерь массы представлены на рис. 5.

Из данных, приведенных на рис. 5, видно, что независимо от срока твердения на воздухе концентрация гидрокарбонатов магния в продуктах остается постоянной. Это связано с тем, что при затворении каустического магнезита раствором $Mg(HCO_3)_2$ в первую очередь образуется гидроксид магния по реакции (1), играющий основополагающую роль в реакциях карбонизации (3) и взаимодействия с ионами бикарбоната (2). Образование $Mg(OH)_2$ при твердении на воздухе практически прекращается по мере расходования жидкости затвердения.

В образцах, твердеющих в водных условиях, при увеличении срока твердения количество гидрокарбонат-

ных продуктов твердения увеличивается, что связано с постоянным присутствием жидкой фазы.

Структурные характеристики новообразований, формирующиеся при гидратации и твердении вяжущих веществ, напрямую влияют на прочностные свойства вяжущих композиций как в начальные сроки твердения, так и на конечную прочность.

В начальные сроки твердения магнезиального вяжущего (до 12 ч) вяжущая система характеризуется пластической прочностью, которую определяли на коническом пластометре Ребиндера погружением конуса в концентрированную суспензию цементного теста нормальной густоты. Для сравнения прочностных свойств образующихся структур и влияния среды твердения каустический магнезит затворяли водным раствором бикарбоната магния и традиционной жидкостью затвердения – раствором хлорида магния.

Нормальная густота магнезиального цементного теста составила соответственно: на растворе $Mg(HCO_3)_2$ – 50%, на растворе $MgCl_2$ – 35%.

Исследования изменения пластической прочности при твердении магнезиальных вяжущих показали, что основной набор структурной прочности происходит в первые 5 ч (рис. 6).

С раствором хлорида магния нарастание пластической прочности цементного теста происходит быстрее, чем при использовании раствора $Mg(HCO_3)_2$. В течение двух часов значения пластической прочности достигают значений 0,24 МПа. Пластическая прочность такого уровня магнезиального вяжущего с раствором бикарбоната магния достигается только после трех часов твердения. Однако к пяти часам после затворения обе компо-

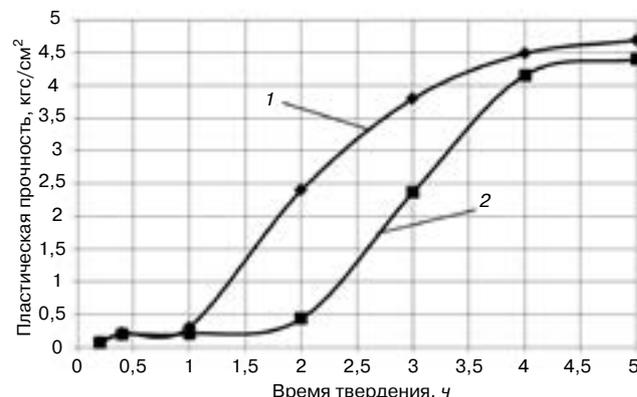


Рис. 6. Зависимость пластической прочности от вида затворителя и времени твердения: 1 – магнезиальное вяжущее, затворенное раствором $MgCl_2$; 2 – магнезиальное вяжущее, затворенное раствором $Mg(HCO_3)_2$.

Таблица 2

Срок твердения, сут	Среда твердения	Прочность при сжатии, МПа	
		Раствор MgCl ₂	Раствор Mg(HCO ₃) ₂
0,5	Воздушная	21	3,82
1	Воздушная	25,8	7,64
3	Воздушная	30,5	10,2
	Возд.-вл.	26,7	21
	Водная	20,1	32,4
14	Воздушная	33,4	14,8
	Возд.-вл.	31,5	49,8
	Водная	20,1	53,8
28	Воздушная	40,5	25,3
	Возд.-вл.	38,2	58,7
	Водная	28,3	63,2

зиции имеют практически одинаковый уровень пластической прочности. После пяти часов твердения тесты теряют свои пластические свойства, и определение пластической прочности становится затруднено. Далее у образцов определялась прочность при сжатии.

В табл. 2 приведены значения прочности при сжатии образцов магнезиального вяжущего, затворенного раствором хлорида магния и раствором бикарбоната магния. Сформованные образцы после выдержки на воздухе в течение 1 сут твердели в разных средах: воздух, воздушно-влажные условия и вода.

Данные показывают, что прочность образцов магнезиального вяжущего, затворенного хлоридом магния, при твердении на воздухе выше, чем при использовании раствора бикарбоната магния.

Список литературы

1. Свит Т.Ф. Термогравиметрическое исследование продуктов гидратации и твердения сульфомагнезиальных вяжущих веществ // *Ползуновский вестник*. 2010. № 3. С. 100–103.
2. 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.
3. 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. Вып. 13. № 35. С. 25–32.
4. 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.
5. 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.
6. Cole W.F., Demediuk T. X-ray, thermal and dehydration studies on magnesium oxychlorides // *Australian Journal of Chemistry*. 1955. No. 8, pp. 234–251.
7. Mark A. Shand. The chemistry and technology of magnesia. Hardcover. 2006. 266 p.

Обратная картина наблюдается при твердении образцов при повышенной влажности. Твердение в воде размягчает магнезиальное вяжущее на хлориде магния, а магнезиальное вяжущее на растворе бикарбоната магния показывает высокие результаты по прочности, достигающие 63,2 МПа.

Снижение прочности гидроксихлоридных магнезиальных цементов в водных условиях влечет за собой низкий коэффициент гидратационного твердения, а следовательно, и коэффициента водостойкости. Гидрокарбонатное магнезиальное вяжущее за счет образования нерастворимых соединений имеет коэффициент гидратационного твердения до 3,6, по данным табл. 2.

Выводы.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что при затворении магнезиальных вяжущих водным раствором бикарбоната магния основными продуктами твердения являются гидроксид магния и гидрокарбонаты магния. При этом увеличение гидрокарбонатной фазы способствует повышению прочностных характеристик магнезиальных композиций. Практически все виды гидрокарбонатов магния являются нерастворимыми в воде, что обеспечивает не только повышенную водостойкость магнезиальных композиций, но и возможность твердеть и набирать прочность в воде. Водная среда способствует более интенсивному и полному протеканию процесса гидратации и твердения магнезиального вяжущего с раствором Mg(HCO₃)₂, так как происходит постоянное образование гидроксида магния с последующим его взаимодействием с бикарбонат-ионами.

Получение водостойких и прочных строительных материалов на основе гидравлического магнезиального вяжущего позволит использовать их в возведении наружных ограждающих конструкций, гидротехнических сооружений, в производстве тротуарных камней и при получении закладочных растворов и бетонов.

References

1. Svit T.F. Thermogravimetric study of the products of hydration and hardening of sulfomagnesian binders. *Polzunovskiy vestnik*. 2010. No. 3, pp. 100–103. (In Russian).
2. Zimich V.V., Kramar L.Ya., Trofimov B.Ya. Fall in hygroscopicity and rise of water resistance of chlormagnesian stone by injection of trivalent iron. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 5, pp 58–61. (In Russian).
3. Zimich V.V., Kramar L.Ya., Chernykh T.N., Pudovikov V.N., Perminov A.V. Features of the influence of the addition of iron hydroxide sol on the structure and properties of magnesia stone *Vestnik YuUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2011. Vol. 13. No. 35, pp. 25–32. (In Russian).
4. 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.
5. Zyryanova V.N., Lytkina E.V., Berdov G.I. Increase of mechanical strength and water resistance of magnesian binders with the introduction of mineral fillers. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2010. No. 3, pp. 21–26. (In Russian).
6. Cole W.F., Demediuk T. X-ray, thermal and dehydration studies on magnesium oxychlorides. *Australian Journal of Chemistry*. 1955. No. 8, pp. 234–251.
7. Mark A. Shand. The chemistry and technology of magnesia. Hardcover. 2006. 266 p.
8. Lotov V.A., Mitina N.A. Preparation of waterproof magnesia binder *Tekhnika i tekhnologiya silikatov*. 2010. Vol. 17. No. 3, pp. 19–22.

8. Лотов В.А., Митина Н.А. Получение водостойкого магнезиального вяжущего // *Техника и технология силикатов*. 2010. Т. 17. № 3. С. 19–22.
9. 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.
10. Митина Н.А., Лотов В.А., Сухушина А.В. Жидкость затворения для магнезиального вяжущего // *Строительные материалы*. 2015. №. 1. С. 64–68.
11. Лотов В.А., Кутугин В.А. Управление процессами формирования дисперсных структур. Томск: Изд-во ТПУ, 2013. 336 с.
12. Nashar Bebyl. Barringtonite – A new hydrous magnesium carbonate from Barrington Tops, New South Wales, Australia // *Mineralogical Magazine*. 1965. Vol. 34. Iss. 268, pp. 370–372.
13. Palache C., Berman H., Frondel C. The system of mineralogy. Vol II. 7-th edition New York: John Wiley&Sons. 1944.
14. Akao M., Iwai S. The hydrogen bonding of hydromagnesite // *Acta Crystallographica*, Section B 33 1977, pp. 1273–1275. <https://doi.org/10.1107/S0567740877005834>.
15. Raade G. Dypingite, a new hydrous basic carbonate of magnesium, from Norway // *American Mineralogist*. 1970. Vol. 55, pp. 1457–1465.
16. Unluer C., Al-Tabbaa A. Characterization of light and heavy hydrated magnesium carbonates using thermal analysis // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2014. Vol. 115, Iss. 1, pp. 595–607.
17. Hollingbery L.A., Hull T.R. The thermal decomposition of natural mixtures of huntite and hydromagnesite // *Thermochimica Acta*. 2012. Vol. 528, pp. 45–52.
18. Unluer C., Al-Tabbaa A. Impact of hydrated magnesium carbonate additives on the carbonation of reactive MgO cements // *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 54, pp. 87–97.
9. Patent RF 2374176. Sposob polucheniya ul'tradispersnykh poroshkov karbonatov [Method for obtaining ultrafine carbonate powders]. 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).
10. Mitina N.A., Lotov V.A., Sukhushina A.V. Mixing liquid for a magnesia binder. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2015. No. 1, pp. 64–68. (In Russian).
11. Lotov V.A., Kutugin V.A. Upravlenie protsessami formirovaniya dispersnykh struktur [Management of the processes of formation of dispersed structures]. Tomsk: TPU Publishing House. 2013. 336 p.
12. Nashar Bebyl. Barringtonite – A new hydrous magnesium carbonate from Barrington Tops, New South Wales, Australia. *Mineralogical Magazine*. 1965. Vol. 34. Iss. 268, pp. 370–372.
13. Palache C., Berman H., Frondel C. The system of mineralogy. Vol II. 7-th edition New York: John Wiley&Sons. 1944.
14. Akao M., Iwai S. The hydrogen bonding of hydromagnesite. *Acta Crystallographica*, Section B 33 1977, pp. 1273–1275. <https://doi.org/10.1107/S0567740877005834>.
15. Raade G. Dypingite, a new hydrous basic carbonate of magnesium, from Norway. *American Mineralogist*. 1970. Vol. 55, pp. 1457–1465.
16. Unluer C., Al-Tabbaa A. Characterization of light and heavy hydrated magnesium carbonates using thermal analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2014. Vol. 115, Iss. 1, pp. 595–607.
17. Hollingbery L.A., Hull T.R. The thermal decomposition of natural mixtures of huntite and hydromagnesite. *Thermochimica Acta*. 2012. Vol. 528, pp. 45–52.
18. Unluer C., Al-Tabbaa A. Impact of hydrated magnesium carbonate additives on the carbonation of reactive MgO cements. *Cement and Concrete Research*. 2013. Vol. 54, pp. 87–97.

г. Воронеж, площадь Детей, 1
ДВОРЕЦ ДЕТЕЙ И МОЛОДЕЖИ
 СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ФОРУМ-ВЫСТАВКА
СТРОИТЕЛЬСТВО
ЖКХ 26-27.10.2017

ВИМ технологии. Лучшие практики
 Развитие ЖКХ. Передовой опыт ЦЧР
 Осенняя распродажа недвижимости
 Строительные материалы и оборудование

ВСЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПАНИИ НА ОДНОЙ ПЛОЩАДКЕ
ЖКХ. ГОТОВИМСЯ К ЗИМЕ

ПО ВОПРОСАМ УЧАСТИЯ И ПАРТНЕРСТВА тел.: +7(473) 251-20-12

Н.А. ГАЛЬЦЕВА, инженер (galcevanadezda@mail.ru), А.Ф. БУРЬЯНОВ, д-р техн. наук (rga-service@mail.ru), В.Г. СОЛОВЬЕВ, канд. техн. наук (s_vadim_g@mail.ru), Д.И. ТКАЧЕНКО, магистр
 Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Модифицированное вяжущее на основе синтетического ангидрита для закладочных смесей

Приведены результаты исследования модификации синтетического ангидрита сульфата кальция, полученного при взаимодействии концентрированной H_2SO_4 и молотого известняка для использования в приготовлении закладочных смесей. Определен оптимальный состав модифицированного ангидритового вяжущего с портландцементом в количестве 2,5% и сульфатом калия в количестве 1% от массы ангидрита, отвечающего требованиям, предъявляемым к закладочным смесям по технологическим и физико-механическим свойствам. Установлено влияние пластификатора на структурообразование разработанного модифицированного вяжущего, а также оптимальное содержание ангидрита и двуводного гипса в затвердевшей системе, при котором обеспечиваются максимальные физико-механические свойства.

Ключевые слова: синтетический ангидрит, модифицированное вяжущее, пластификатор, структура, физико-механические свойства.

Для цитирования: Гальцева Н.А., Бурьянов А.Ф., Соловьев В.Г., Ткаченко Д.И. Модифицированное вяжущее на основе синтетического ангидрита для закладочных смесей // *Строительные материалы*. 2017. № 8. С. 74–76.

N.A. GALCEVA, Engineer (galcevanadezda@mail.ru), A.F. BURIANOV, Doctor of Sciences (Engineering) (rga-service@mail.ru), V.G. SOLOVIEV, Candidate of Sciences (Engineering) (s_vadim_g@mail.ru), D.I. TKACHENKO, Magister Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Shosse, 129337, Moscow, Russian Federation)

A Modified Binder on the Basis of Synthetic Anhydrite for Stowing Mixtures

Results of the study of modification of the synthetic anhydrite of calcium sulfate obtained at interaction of the concentrated H_2SO_4 and ground limestone for the use when preparing stowing mixtures are presented. The optimal composition of the modified anhydrite binder with 2.5% of Portland cement and 1% of calcium sulfate of the anhydrite mass meeting the requirements for stowing mixtures concerning their technological and physical-mechanical properties has been determined. The influence of a plasticizer on the structure formation of the developed modified binder as well as the optimal content of the anhydrite and calcium sulfate dehydrate in the hardened system, which provides maximal physical-mechanical properties, have been determined.

Keywords: synthetic anhydrite, modified binder, plasticizer, structure, physical-mechanical properties.

For citation: Galceva N.A., Burianov A.F., Soloviev V.G., Tkachenko D.I. A modified binder on the basis of synthetic anhydrite for stowing mixtures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 8, pp. 74–76. (In Russian).

Материалы на базе ангидрита уже много лет находят широкое применение в строительстве, в том числе в качестве компонента для закладочных смесей, так как ангидрит имеет высокую прочность, замедленные сроки схватывания и характеризуется отсутствием объемного расширения при твердении.

В настоящее время остро стоит проблема утилизации многотоннажных отходов пирометаллургической промышленности – концентрированной серной кислоты, получаемой из выбросов SO_2 . Современные методики позволяют получить после обработки ее кальцийсодержащими нейтрализующими реагентами различные модификации сульфата кальция [1].

По сравнению с полуангидратом сульфата кальция, например строительным гипсом, ангидрит реагирует с водой очень медленно и в основном не полностью. Это связано с меньшей растворимостью ангидрита. Несмотря на многолетний положительный опыт применения природного ангидрита, имеется очень мало данных по влиянию отдельных активаторов и их комбинаций на основные свойства смесей. На основании анализа литературных источников [2–14] проведены исследования влияния портландцемента, K_2SO_4 и $Ca(OH)_2$ на основные характеристики ангидрита. Установлено, что оптимальной модифицированной добавкой является смесь щелочного активатора в виде портландцемента и сульфатного активатора (сульфата калия), обеспечивающая требуемые сроки начального твердения вяжущего на основе синтетического ангидрита.

Для определения оптимального состава модификатора разрабатываемого ангидритового вяжущего было

использовано математическое планирование эксперимента. Для получения математической модели был принят ортогональный центрально-композиционный план второго порядка. Факторы и уровни планирования эксперимента приведены в табл. 1. В качестве параметров оптимизации приняты: начало схватывания вяжущего, прочность при сжатии в первые и седьмые сутки. Оптимизация состава модификатора по данным характеристикам обусловлена особыми требованиями к вяжущему для получения закладочных смесей:

- начало схватывания не ранее 2 ч (время, необходимое для изготовления закладочной смеси и ее укладки);
- прочность в возрасте 7, 28 и 180 сут в пределах 0,3–3, 0,5–5 и 1–10 МПа соответственно.

В результате проведенного эксперимента получены математические модели (уравнения регрессий) по количеству определяемых характеристик со значимыми коэффициентами при выбранных переменных:

$$N.C. = 117,52 - 25,3X_2 + 6,25X_1X_2 - 3,7X_1^2 - 19,7X_2^2;$$

$$R_1 = 3,89 - 0,45X_1 + 0,47X_2 - 0,58X_1X_2 - 0,68X_1^2 - 0,23X_2^2;$$

$$R_7 = 16,9 - 2,07X_1 - 1,08X_2 - 0,25X_1X_2 - 2,63X_1^2 - 2,08X_2^2.$$

По описанным моделям построены графики (рис. 1, 2). Для начала схватывания вяжущего и его прочности в возрасте 7 сут установлено, что оптимальный состав модификатора ангидритового вяжущего, обеспечивающий соответствие требованиям, предъявляемым к вяжущему для закладочных смесей, содержит ПЦ500Д0 в количестве 2,5% от массы вяжущего и K_2SO_4 – 1 %.

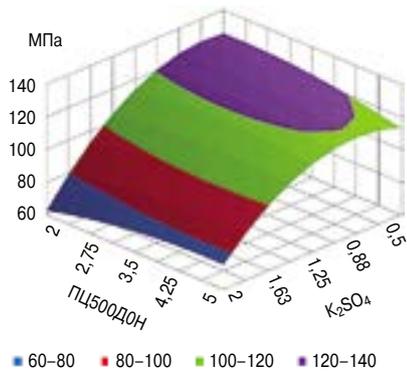


Рис. 1. Зависимость начала схватывания вяжущего от содержания портландцемента и сульфата калия

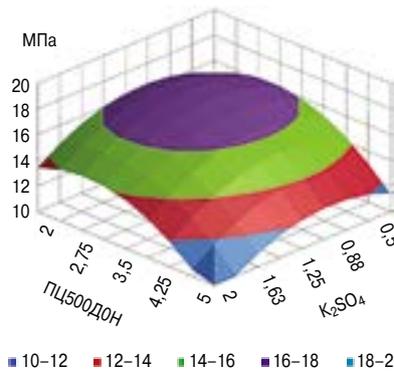


Рис. 2. Зависимость прочности при сжатии вяжущего в возрасте 7 сут от содержания портландцемента и сульфата калия

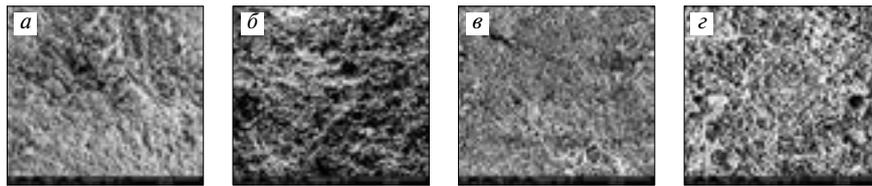


Рис. 3. Микроструктура образцов: а – ПЦ500ДО – 2,5%, K_2SO_4 – 1%; б – ПЦ500ДО – 2,5%, K_2SO_4 – 1%, Melment F10 – 0,4%; в – ПЦ500ДО – 2,5%, K_2SO_4 – 1%, Melment F10 – 0,7%; г – ПЦ500ДО – 2,5%, K_2SO_4 – 1%, Melment F10 – 1%

- водопотребность 28–32%;
- предел прочности при сжатии в возрасте 1 сут – 6,9–13,3 МПа;
- предел прочности при сжатии в возрасте 7 сут – 24–33,5 МПа;
- начало схватывания 120–225 мин;
- конец схватывания 180–355 мин;
- коэффициент размягчения 0,6–0,68.

Наилучшие физико-механические свойства (прочность и водостойкость) имело вяжущее с добавкой Melment F10 в количестве 1%. Для детальной оценки полученных вяжущих проведены дополнительные исследования структуры на электронном растровом микроскопе и минералогического состава методом порошковой рентгеновской дифрактометрии. В табл. 2 приведены результаты исследований минералогического состава затвердевших образцов на основе синтетического ангидрита, а на рис. 3 – структуры затвердевших материалов.

Контрольный образец без пластифицирующей добавки (рис. 3, а) характеризуется наименьшей реакционной способностью: содержание двухводного гипса составляет 45%, а содержание непрореагировавшего ангидрита – 54,2%, что обуславливает наименьшие его физико-механические характеристики. При снижении водовязущего отношения за счет снижения содержания пластификатора до 0,4 и 0,7% реакционная способность вяжущего увеличивается, количество ангидрита снижается до 40,7–40,8%, а двухводного гипса увеличивается до 58,6% соответственно. Такое соотношение минералов приводит к формированию кристаллов сопоставимых размеров (рис. 3, б, в) и, как следствие, к повышению прочности и водостойкости. Наилучшие характеристики модифицированного ангидритового вяжущего обеспечиваются при введении пластифицирующей добавки Melment F10 в количестве 1% за счет оптимального содержания ангидрита и двухводного гипса в количестве 45,6 и 53,8% соответственно. При данном соотношении ангидрита и двухводного гипса формируется наиболее прочная и водостойкая структура с кристаллами различной формы (рис. 3, г), в которой ангидрит выполняет роль армирующего каркаса, а двухводный гипс – связующей матрицы.

Таблица 1

Факторы и уровни варьирования

Факторы	Обозначение	Уровни варьирования		
		-1	0	+1
Содержание портландцемента ПЦ500ДО, % от массы вяжущего	X_1	2	3,5	5
Содержание K_2SO_4 , % от массы вяжущего	X_2	0,5	1,25	2

Таблица 2

Минералогический состав образцов

Состав	Содержание минералов, %		
	$CaSO_4$	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Кварц
Цемент (М-500 ДО) 2,5% K_2SO_4 1%	54,2	45	0,8
Цемент (М-500 ДО) 2,5%, K_2SO_4 1%, Melment F10 – 0,7%	40,7	58,6	0,6
Цемент (М-500 ДО) 2,5% K_2SO_4 1%, Melment F10 – 1%	45,6	53,8	0,6
Цемент (М-500 ДО) 2,5%, K_2SO_4 1%, Melment F10 – 0,4%	40,8	58,5	0,6

Дальнейшая оптимизация полученного ангидритового вяжущего осуществлялась путем введения пластифицирующей добавки Melment F10 в количестве 0,4–1% от массы вяжущего для снижения водовязущего отношения и, как следствие, повышения физико-механических свойств. В результате проведенных исследований установлено, что введение пластифицирующей добавки позволяет повысить физико-механические свойства вяжущего в следующих пределах:

выполняет роль армирующего каркаса, а двухводный гипс – связующей матрицы.

Проведенные исследования указывают на широкие возможности применения модифицированного синтетического ангидрита в качестве вяжущего для изготовления смесей для закладки отработанных пространств шахт на рудниках. Его использование дополнительно позволит решить проблему утилизации большого количества серной кислоты – экологически опасного отхода промышленности.



Список литературы

1. Гриневич А.В., Киселев А.А., Кузнецов Е. М., Бурьянов А.Ф., Получение синтетического ангидрида сульфата кальция из концентрированной серной кислоты и молотого известняка // *Строительные материалы*. 2013. № 11. С. 16–19.
2. Бурьянов А.Ф., Иваницкий В.В. Свойства и рациональные области применения гипсовых и ангидритовых вяжущих с различной стандартной водопотребностью. *Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: Сборник материалов Всероссийского семинара с Международным участием*. Москва, 2002. С. 230–232.
3. Иваницкий В.В., Бурьянов А.Ф. Исследование свойств гипсовых и ангидритовых вяжущих как базового материала для самонивелирующихся стяжек пола. *Наука и технология силикатных материалов – настоящее и будущее: Сборник трудов Международной научно-практической конференции*. Москва, 2003. С. 317–320.
4. Бурьянов А.Ф., Петраченко В.В. Гипсовые и ангидритовые вяжущие для самонивелирующихся стяжек полов // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2005. № 10. С. 39–43.
5. Бурьянов А.Ф., Петраченко В.В. О гидратации ангидритового вяжущего. *Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Материалы четвертой международной конференции*. Ростов н/Д. 2006. С. 89–95.
6. Бурьянов А.Ф., Петраченко В.В. Влияние добавок на гидратацию ангидритового вяжущего. *Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Материалы четвертой международной конференции*. Ростов н/Д. 2006. С. 96–104.
7. Гайнутдинов А.К., Гонтарь Ю.В., Бурьянов А.Ф. Применение ангидритовых и гипсоангидритовых вяжущих для производства сухих строительных смесей. Ч. 1 // *Сухие строительные смеси*. 2007. № 1. С. 8–9.
8. Бурьянов А.Ф., Гонтарь Ю.В., Чалова А.И. К вопросу использования гипсовых и ангидритовых вяжущих в сухих смесях для устройства оснований полов // *Сухие строительные смеси*. 2010. № 1. С. 11–13.
9. Маева И.С., Яковлев Г.И., Первущин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Пустовгар А.П. Структурирование ангидритовой матрицы нанодисперсными модифицирующими добавками // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 4–5.
10. Маева И.С., Изряднова О.В., Яковлев Г.И., Бурьянов А.Ф., Фишер Х.-Б. Процессы гидратации ангидритового вяжущего при введении дисперсных минеральных добавок. *Проблемы и достижения строительного комплекса «Стройкомплекс-2010»: Материалы Международной научно-технической конференции*. Ижевск, 2010. С. 222–225.
11. Гонтарь Ю.В., Чалова А.И., Бурьянов А.Ф. Сухие строительные смеси на основе гипса и ангидрита. М.: Де-Нова, 2010. 214 с.
12. Пустовгар А.П., Василик П.Г., Бурьянов А.Ф. Особенности применения гиперпластификаторов в сухих строительных смесях // *Строительные материалы*. 2010. № 12. С. 61–64.
13. Бурьянов А.Ф. Модификация структуры и свойств материалов на основе гипса и ангидрита ультра- и нанодисперсными добавками: *Строительные материалы, изделия и санитарная техника*. 2011. № 41. С. 91–95.
14. Бурьянов А.Ф. Композиционные материалы на основе гипса и ангидрита, модифицированные ультра- и нанодисперсными добавками. *Сборник трудов Международной научной конференции «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании»*. 2011. Москва. Т. 2. С. 17–21.

References

1. Grinevich A.V., Kiselev A.A., Kuznetsov E.M., Bur'yanov A.F. Production of Synthetic Anhydrite Calcium Sulfate from Concentrated Sulfuric Acid and Flour Limestone. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2013. No. 11, pp. 16–19. (In Russian).
2. Burianov A.F., Ivanitskiy V.V. Properties and rational ranges of application plaster and anhydrite knitting with various reference water requirement. *Increase in production efficiency and use of plaster materials and products: The collection of materials of the All-Russian seminar with the international participation*. Moscow. 2002, pp. 230–232. (In Russian).
3. Ivanitskiy V.V., Burianov A.F. Investigation of the properties of gypsum and anhydrite binder as a basic material for self-leveling floor screeds. *Science and technology of silicate materials – the present and the future: Collection of works of the International scientific and practical conference*. Moscow. 2003, pp. 317–320. (In Russian).
4. Burianov A.F., Petrachenko V.V. Gypsum and anhydrite binders for self-leveling floor screeds. *Vestnik BGТУ im. V.G. Shukhova*. 2004. No. 8, pp. 39–43. (In Russian).
5. Burianov A.F., Petrachenko V.V. Hydration of anhydrite binder. *Concrete and reinforced concrete in the third millennium: Materials of the fourth international conference*. Rostov-na-Donu. 2006, pp. 89–95. (In Russian).
6. Burianov A.F., Petrachenko V.V. Influence of additives on hydration of anhydrite knitting. *Concrete and reinforced concrete in the third millennium: Materials of the fourth international conference*. Rostov-na-Donu. 2006, 96–104. (In Russian).
7. Gainutdinov A.K., Gontar' Yu.V., Bur'yanov A.F. Application anhydrite and the gipsoangidritovykh of the dry structural blends knitting for production. *Sukhie stroitel'nye smesi*. 2007. No. 1, pp. 8–9. (In Russian).
8. Burianov A.F., Gontar' Y.V., Chalova A.I. On the use of gypsum and anhydrite binders in dry mixes for the installation of floor bases. *Sukhie stroitel'nye smesi*. 2010. No. 1, pp. 11–13. (In Russian).
9. Maeva I.S., Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Bur'yanov A.F., Pustovgar A.P. Structuring of Anhydrite Matrix with Nanodisperse Modifying Additives. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 4–5. (In Russian).
10. Maeva I.S., Yakovlev G.I., Izryadnova O.V., Buryanov A.F., Fisher H.B. Processes of hydration anhydrite knitting at introduction of dispersible mineral additives. *Problems and achievements of a structural complex Stroikompleks-2010: materials of the International scientific and technical conference*. Izhevsk. 2010, pp. 222–225. (In Russian).
11. Gontar' Y.V., Chalova A.I., Burianov A.F. Sukhie stroitel'nye smesi na osnove gipsa i ангидрита [Dry building mixtures based on gypsum and anhydrite] Moscow: De-Nova. 2010. 214 p.
12. Pustovgar A.P., Vasilik P.G., Bur'yanov A.F. Features of the Use of Hyperplasticizers in Dry Building Mixes. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2010. No. 12, pp. 61–64. (In Russian).
13. Buryanov A.F. Modification of structure and properties of materials on the basis of plaster and anhydrite ultra- and nanodispersible additives. *Stroitel'nye materialy, izdeliya i sanitarnaya tekhnika*. 2011. No. 41, pp. 91–95. (In Russian).
14. Burianov A.F. Composites on the basis of plaster and anhydrite, the modified ultra- and nanodispersible additives. *Collection of works of the International scientific conference "Integration, Partnership and Innovations in Structural Science and Education"*. Moscow. 2011. Vol. 2, pp. 17–21. (In Russian).

26-29 СЕНТЯБРЯ

УФА 2017

ОРГАНИЗАТОР:



ПОДДЕРЖКА:



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН
ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ И АРХИТЕКТУРЕ



МИНИСТЕРСТВО
ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ИННОВАЦИОННОЙ ПОЛИТИКИ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



МИНИСТЕРСТВО ЖИЛИЩНО-
КОМУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



АССОЦИАЦИЯ
РЕСПРОМЫШЛЕННИКОВ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

СОДЕЙСТВИЕ:

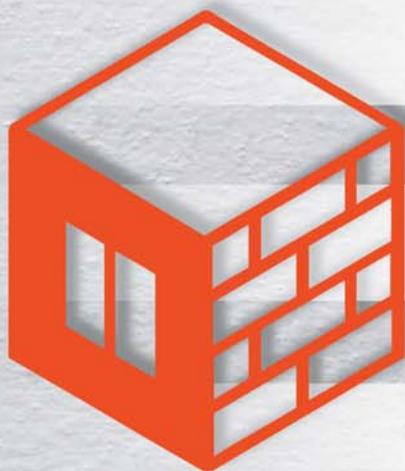


СОЮЗ СТРОИТЕЛЕЙ
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН



ИТО СТРОИТЕЛЕЙ

ФОРУМ УРАЛСТРОЙИНДУСТРИЯ



СТРОИТЕЛЬСТВО

XXVII специализированная выставка

ДЕРЕВООБРАБОТКА

III специализированная выставка

НЕДВИЖИМОСТЬ

XI специализированная выставка



(347) 246-42-38, 246-42-37

e-mail: stroy@bvkexpo.ru

www.stroybvk.ru

Место проведения

ВДНХ ЭКСПО

ул. Менделеева, 158



#БВК #стройБВК

masa

Milestone to your success.

Наши решения – Ваш успех



www.masa-group.com

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

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

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

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

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

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

Masa - made in Germany.

