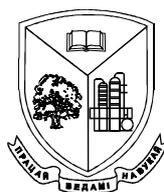


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»



**Международная научно-техническая  
конференция**

**«НАУКА И ТЕХНОЛОГИЯ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ:  
СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ»**  
посвящена 60-летию научно-педагогической деятельности  
профессора Н.М. Бобковой

**25-27 октября 2017 г.**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

г. Минск

УДК 691 : 005.745

ББК 38.3я73

Н 34

Редакционная коллегия:

Главный редактор ректор, д-р техн. наук И.В. Войтов

Члены редколлегии: проф. кафедры ТСиК, д-р техн. наук  
И.А. Левицкий;  
проректор по научной работе, д-р техн. наук  
Дормешкин О.Б.

**Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития** : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25-27 октября 2017 г. – Мн. : БГТУ, 2017. – 207 с.  
ISBN 978-985-530-642-0.

Сборник составлен по материалам докладов Международной научно-технической конференции «Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития», посвященной 60-летию научно-педагогической деятельности профессора Н.М. Бобковой. Доклады отражают актуальные проблемы энерго- и ресурсосбережения, науки и новых технологических решений в производстве строительных материалов и изделий на основе стекла, керамики и вяжущих материалов.

Сборник предназначен для работников отраслей народнохозяйственного комплекса, научных сотрудников, занимающихся вопросами производства строительных материалов, аспирантов и студентов ВУЗов.

ISBN 978-985-530-642-0

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2017

Сборник составлен по материалам докладов Международной научно-технической конференции «Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития», проведенной в Белорусском государственном технологическом университете, которые отражают актуальные проблемы энерго- и ресурсосбережения, науки и новых технологических решений в производстве строительных материалов и изделий на основе стекла, керамики, вяжущих, полимерных материалов и изделий из древесины и др.

Международная конференция проводилась с целью повышения эффективности научных исследований и технологических разработок в отрасли производства строительных материалов и изделий с расширением сырьевой базы отрасли, вовлечения в промышленное производство техногенных отходов.

В работе конференции участвовали ученые и представители промышленности Беларуси, России, Литвы.

Тематика представленных докладов охватывает широкий круг направлений научных в области технологии производства строительных материалов и изделий.

Состоявшиеся на конференции активные обсуждения сделанных докладов и дискуссии по вышеперечисленным вопросам будут способствовать дальнейшему развитию научных исследований и технологий в области получения строительных материалов.

Председатель организационного комитета  
Международной научно-технической конференции,  
ректор БГТУ

И.В. Войтов

**60-ЛЕТИЮ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ  
ПРОФЕССОРА Н.М. БОБКОВОЙ ПОСВЯЩАЕТСЯ**



УДК 347-057.4

**НИНЕЛЬ МИРОНОВНА БОБКОВА – УЧЕНЫЙ,  
ПЕДАГОГ, ИЗОБРЕТАТЕЛЬ**

И.А. Левицкий

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Исполнилось 60 лет научно-педагогической деятельности профессора кафедры технологии стекла и керамики Белорусского государственного технологического университета Бобковой Нинель Мироновне, известного ученого в области технологии силикатов, заслуженного деятеля науки и техники Республики Беларусь, доктора технических наук.

Н.М. Бобкова родилась 16 октября 1935 года в г. Смоленске в семье военнослужащего. Закончила среднюю школу № 12 г. Минска.

Н.М. Бобкова в 1953 г. окончила с отличием Белорусский политехнический институт (БПИ) по специальности «Технология силикатов» и тогда же была рекомендована для поступления в аспирантуру.

Свою научную деятельность Н.М. Бобкова начала в 1957 г. в проблемной лаборатории стекла Белорусского политехнического института.

В 1958 г. Н.М. Бобкова под руководством академика М.А. Безбородова защитила кандидатскую диссертацию на тему «Влияние цезия на свойства силикатных и борных стекол». Н.М. Бобковой впервые были рассчитаны парциальные числа оксида цезия для показателя преломления и термического расширения.

В 1959 г. начала педагогическую деятельность в должности ассистента, а затем доцента кафедры технологии силикатов БПИ. При этом продолжала активную научную работу.

Обобщение литературных и собственных данных по зависимости свойств стекол от состава было отражено в монографии «Диаграммы стеклообразных систем» (1959 г., под ред. М.А. Безбородова).

Наиболее важным вкладом Н.М. Бобковой в теорию стеклообразного состояния является комплекс работ по механизму и кинетике формирования структуры силикатных стекол в процессе их синтеза. На основе этих работ был сформулирован новый подход к теории стеклообразного состояния, учитывающий последовательность и кинетику процессов стеклообразования с учетом так называемого теплового прошлого, обосновывающий с термодинамической точки зрения возникновение и сохранение в структуре стекла

неоднотипных кремнекислородных комплексов в различных типах силикатных стекол. Научно обосновано и экспериментально доказано образование в процессе синтеза силикатных стекол структурных групп с повышенной долей ионных связей, обуславливающих зависимость свойств стекол от их тепловой истории. Установлена математическая зависимость таких свойств, как микротвердость, модуль упругости и реальная механическая прочность в зависимости от максимальной температуры синтеза стекол. На основе этой математической зависимости рассчитана теоретическая прочность листового стекла.

С использованием термодинамических расчетов дано теоретическое обоснование образования в процессе синтеза структурных комплексов с повышенной долей ионных связей, что приводит к появлению в расплаве гетеродинамических образований.

Работы по механизму и кинетике формирования структуры стекла в процессе синтеза дали возможность сформулировать общие принципы установления рациональных режимов синтеза силикатных стекол.

Этот комплекс работ был выполнен Н.М. Бобковой по предложению профессора И.И. Китайгородского и обобщен в 1969 г. в защищенной докторской диссертации «Взаимосвязь между условиями синтеза, структурой и свойствами силикатных стекол».

Основная педагогическая деятельность Нинель Мироновны связана с чтением лекционного курса «Физическая химия силикатов».

В 1971 г. Н. М. Бобковой было присвоено ученое звание профессора.

После перевода кафедры технологии силикатов в Белорусский государственный технологический институт в 1976 г. профессор Н. М. Бобкова возглавила кафедру технологии силикатов, которой руководила до 1996 г. Организация работы кафедры на новом месте потребовала значительных усилий не только по оснащению кафедры, но и по строительству научно-производственной базы – лаборатории высокотемпературного синтеза.

В 1980 г. Н. М. Бобковой присвоено звание «Заслуженный деятель науки и техники БССР», а в 1986 г. Нинель Мироновна награждена орденом «Знак почета».

На основе собственного опыта и чтения курса лекций «Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов», «Химическая технология стекла и ситаллов» с 1977 по 2007 гг. Н. М. Бобковой написаны 6 учебников и учебных пособий, последними из которых являются следующие: «Теоретические

основы стеклообразования. Строение и свойства стекол» (2003); «Основы технологии ситаллов» (2004); «Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных материалов» (2007).

Значительный комплекс научных работ Н. М. Бобковой посвящен теории и практике получения бесщелочных ситаллов. Систематическое изучение процессов стекло- и ситаллообразования в системах  $\text{MeO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2$  позволило сформулировать общие закономерности стекло- и ситаллообразования в этих системах. Доказана возможность перехода от преимущественно кремнекислородной структурной сетки с включением в нее групп  $[\text{TiO}_4]$  к преимущественно титаноокислородной с включением в нее групп  $[\text{SiO}_4]$ . Установлен факт взаимного влияния оксидов  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$  на структурное состояние ионов алюминия и титана. Результаты этих исследований обобщены в монографии Н. М. Бобковой и Л.М. Силич «Бесщелочные ситаллы и стеклокристаллические материалы» (1992).

Существенный объем работ посвящен исследованиям в области цирконийсодержащих стекол. Управление процессами перехода катионов бора, циркония и алюминия из одного координационного состояния в другое позволило получить покрытия на основе цирконийсодержащих систем с различными степенями диффузионного отражения и заглуженности. Синтезированы также прозрачные борсодержащие глазури для бытовой и строительной керамики.

Широкое развитие получил комплекс работ по разработке стекол для микроэлектроники и стекол светотехнического назначения.

Н. М. Бобковой опубликовано более 600 научных работ, получено 202 авторских свидетельства СССР и 51 патент Российской Федерации и Республики Беларусь. Н.М. Бобкова выступала с докладами на пяти международных конгрессах по стеклу и ряде международных конференций.

Под руководством Нинель Мироновны подготовили и защитили диссертации один доктор наук и 46 кандидатов наук. В их числе Заволокин Н.С. (1968); Дешковская А.А., Ковчур С.Г. (1969); Родионов Ю.А., Силич Л.М. (1971); Городецкая О.Г. (1972); Русак В.И. (1973); Рачковская Г.Е. (1974); Аксенович Л.А. (1975); Самуйлова В.Н. (1976); Викарук Л.Н., Тижовка Ж.С. (1977); Терещенко И.М. (1979); Козорог М.Г. (1980); Янковская С.А., Гайлевич С.А. (1981); Курпан Е.М., Борушко Н.А. (1982); Калашников Г.А., Левицкий И.А. (1983); Апанович З.В., Шишканова Л.Г., Букенгольц Е.А., Степан-

чук А.А., Липницкая Н.И. (1984); Синевич А.К. (1985); Ржевская С.П., Папко Л.Ф., Соловей Н.П., Романенко З.А., Миненкова Г.Я. (1986); Смолонская А.Г. (1987); Тижовка О.В., Юркевич Т.Н. (1988); Непомнящий О.А. (1989); Егорова И.М. (1990); Запольский В.А., Залыгина О.С. (1992); Каврус И.В. (1993); Заяц Н.И. (1997); Колонтаева Т.В. (1999); Бирюк В.А. (2000); Поповская Н.Ф. (2001); Кравчук А.П. (2007); Кузьменкова Н.М. (2009); Трусова Е.Е. (2010).

Среди разработок, внедренных в промышленное производство, наиболее важными являются следующие: стекла для межслойной изоляции керамических и стальных подложек в микроэлектронике (предприятия электротехники г. Зеленограда и г. Харькова); ситалл для жаростойкой посуды (завод Октябрьской революции г. Константиновка Донецкой обл.); износостойкий ситалл для нитепроводящей гарнитуры (внедрен на ПО «Химволокно», г. Могилев); стеклокерамический наполнитель с отрицательным тепловым расширением (внедрен на ПО вычислительной техники); глазури для изделий строительного назначения (внедрены на ПО «Минскстройматериалы», 4 вида); биоситалл для челюстно-лицевой хирургии (Бобруйская стоматологическая поликлиника); бесщелочной износостойкий ситалл для буровой техники (Опытный завод ГИСа, г. Москва).

Ее многочисленные ученики – известные педагоги и исследователи работают ныне в стенах нашего университета. В их числе на кафедре технологии стекла и керамики кандидаты технических наук Рачковская Г.Е., Терещенко И.М., Папко Л.Ф., Кравчук А.П., Трусова Е.Е. В других структурных подразделениях и кафедрах университета в течение ряда лет трудятся доценты Каврус И.В., Залыгина О.С., Шишканова Л.Г., Заяц Н.И., Шалухо (Кузьменкова) Н.М.

Нинель Мироновна активно публикует результаты своих исследований. Разработки, выполненные под ее руководством, неоднократно представлялись на ряде международных выставок в ближнем и дальнем зарубежье и в Республике Беларусь.

В течение своей трудовой деятельности Нинель Мироновна участвует в работе Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций, в течение многих лет возглавляла его работу.

Нинель Мироновна пользуется большим уважением среди научных и инженерно-технических работников силикатной промышленности Республики Беларусь и ближнего зарубежья. Ее отличает доброжелательность, высокая эрудиция, необыкновенная трудоспособность, требовательность к себе и окружающим.

УДК666.01

**ВЗАИМОСВЯЗЬ СОСТАВОВ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ ЩЕЛОЧЕБОРОСИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ  
И ИХ СПОСОБНОСТЬ К ФОРМИРОВАНИЮ  
ПОЛЫХ СТЕКЛЯННЫХ МИКРОСФЕР**

Н.М. Бобкова, Е.Е. Трусова

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Полые стеклянные микросферы (ПСМ) представляют собой мелкодисперсные легкосыпучие порошки, состоящие из тонкостенных (0,5–2,0 мкм) стеклянных полых частиц сферической формы диаметром от 20 до 250 мкм. Благодаря уникальному сочетанию сферической формы, контролируемых размеров ПСМ, низкой плотности, хорошим тепло-, звукоизоляционным и диэлектрическим свойствам ПСМ являются одним из важнейших техногенных сверхлегких наполнителей при получении композиционных материалов на основе полимеров; производстве лаков и красок; получении полимерных композитов со специальными свойствами для электроники и электротехники. Основой любого способа изготовления полых стеклянных микросфер является создание условий для растворения в расплаве стекла неразложившихся газообразующих компонентов и выделение их в результате последующей диссоциации при повторном нагреве стекла и формировании полых микросфер. В качестве газообразующих компонентов в силикатных стеклах выступают карбонаты, нитраты и сульфаты щелочных и щелочноземельных металлов. Однако первые два вида газообразующих обладают относительно низкими температурами разложения и неспособностью сохраняться в растворенном виде в силикатном расплаве без разложения. С точки зрения возможной растворимости в стекломассе без разложения наибольший интерес представляют сульфаты, в частности,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , имеющий температуру плавления без разложения, равную  $884^\circ\text{C}$ , и обладающий способностью смешиваться в определенных количествах с расплавом силикатного стекла при его синтезе. Температура разложения чистого сульфата натрия составляет  $1200\text{--}1220^\circ\text{C}$ . В высоковязкой среде силикатного расплава температура разложения сульфата натрия может повышаться до  $1400\text{--}1440^\circ\text{C}$  и выше. Такая особенность поведения сульфата натрия в силикатных расплавах дает возможность получения расплавов силикоборатных стекол при температурах ниже  $1400^\circ\text{C}$  и сохранить в расплаве неразложившийся расплавленный сульфат натрия. Поведение  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в силикатных расплавах подробно рассмотрено в [1]. Отсюда следует вывод, что составы силикатных стекол для получе-

ния ПСМ должны быть достаточно легкоплавкими с температурами синтеза не выше 1350–1380°C. Такую легкоплавкость в силикатных стеклах обеспечивает высокое содержание оксидов щелочных и щелочноземельных металлов, а также наличие в составе  $B_2O_3$ . Поэтому в качестве основы для получения ПСМ выступают, в первую очередь, стекла щелочноборосиликатных систем. Диапазон составов стекол, рекомендуемых в литературе для получения ПСМ, обычно чрезвычайно широк [2–3]. Однако следует учитывать резкую активизацию процессов разложения сульфата натрия в присутствии восстановителя по реакциям:  $2Na_2SO_4 + C \rightarrow 2Na_2SO_3 + CO_2$  или  $Na_2SO_4 + 2C \rightarrow Na_2S + 2CO_2$ . Поэтому сохранить его в расплаве силикоборатных стекол без разложения в присутствии восстановителя практически невозможно. В окислительной среде разложение  $Na_2SO_4$  существенно замедляется, обеспечивая расплавление его и достаточную его устойчивость в расплаве стекол без разложения. Поэтому кроме соответствующей легкоплавкости и необходимых реологических свойств требуется соблюдать дополнительное условие при синтезе стекол для ПСМ – обеспечение окислительной среды при варке исходных стекол как полупродукта. Но практически во всех случаях в качестве основных стекол для ПСМ выступает система  $Na_2O-CaO-SiO_2-B_2O_3$ .

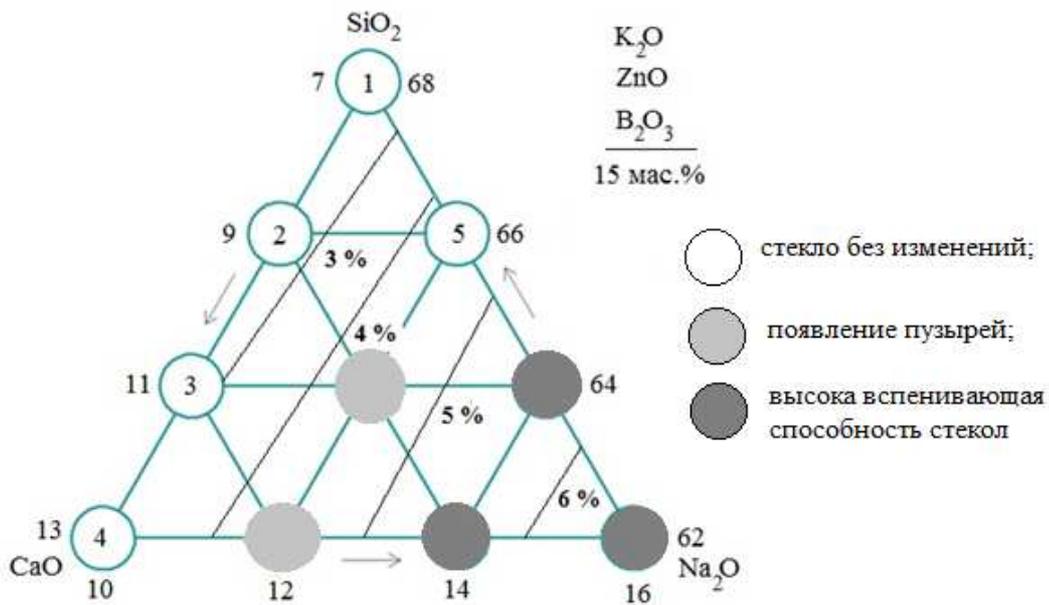
Нами выполнены систематические исследования свойств стекол в стеклообразующей системе  $Na_2O-CaO-SiO_2$  как основы, с дополнительным введением во все стекла оксидов  $B_2O_3$ ,  $K_2O$  и  $ZnO$  в сумме 15 мас.% (рисунок 1). Кроме того, сверх 100% во все стекла вводилось 2%  $Na_2SO_4$ . Введением  $K_2O$  через нитрат калия в состав сырьевых смесей обеспечивалось создание окислительных условий в процессе синтеза стекол. Температура варки исходных стекол составляла 1320–1350°C с выдержкой при 1 час. Все стекла полностью проварились и характеризовались хорошими формовочными свойствами. Физико-технические свойства синтезированных стекол приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Физико-технические свойства стекол**

№	Свойства стекол			№	Свойства стекол		
	$T_{н.р.},$ °C	ТКЛР, $\alpha \cdot 10^7 K^{-1}$	плотность, кг/м <sup>3</sup>		$T_{н.р.},$ °C	ТКЛР, $\alpha \cdot 10^7 K^{-1}$	плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	620	75,84	2557	6	590	89,15	2596
2	620	81,58	2587	7	570	91,32	2625
3	610	83,88	2617	8	575	85,97	2573
4	580	87,02	2647	9	560	97,22	2605
5	600	79,28	2565	10	560	100,53	2582

Для экспериментального определения количества потерь массы при повторной термообработке и оценки способности стекол к газо-

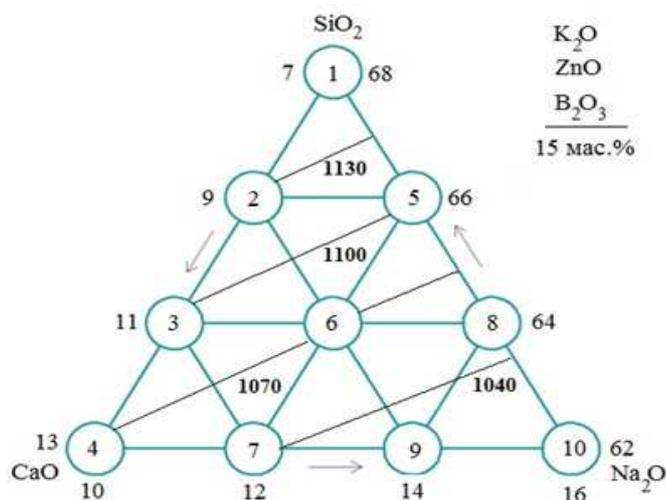
выделению стеклогранулят стекла насыпался в корундовые тигли массой  $m_1$ , затем проводилось взвешивание тиглей со стеклом ( $m_2$ ) и повторная термообработка их при температуре 1450–1500 °С в газовой печи с выдержкой при максимальной температуре в течение 1 часа. Охлажденные тигли со стеклом повторно взвешивались ( $m_3$ ). Потери при газовой выделении рассчитывались следующим образом: % потерь =  $m_3/(m_2-m_1) \cdot 100$ . Графическая зависимость потерь массы за счет газовой выделении при повторном нагреве исходных стекол показана на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Область составов стекол, их вспенивающая способность и значения потерь массы от газовой выделении при вторичном нагреве**

Проявилась четкая зависимость % потерь массы при повторном нагреве от содержания оксидов натрия и кремния в стекле, активно влияющих на вязкость расплава, которая согласуется с закономерностью изменения в системе значений температуры начала размягчения. Это подтверждает тесную взаимосвязь вязкостных характеристик или реологических свойств стекол и расплавов с активностью процессов газовой выделении при повторном нагреве. Для оценки закономерностей изменения реологических свойств стекол в изучаемой системе и их влияние на процессы газовой выделении были выполнены расчеты вязкостных характеристик стекол в высокотемпературной области. На рисунке 2 приведена зависимость температур ликвидуса ( $10^2$  Па·с) от состава стекол. Сопоставление рисунков 1 и 2 приводит к выводу, что наиболее оптимальными составами стекол в изученной области следует признать составы 8 и 9, обладающие максимальной газовой выделением.

нием при повторном нагреве и минимальными значениями температур ликвидуса – не выше 1050 °С.



**Рисунок 2 – Зависимость расчетных температур ликвидуса (°С) от состава стекол**

Однако, влияние только вязкостных характеристик стекол не объясняет сравнительно высоких значений потерь массы (до 6 %) при повторном нагреве. Очевидно, что кроме растворенного  $SO_3$  в расплаве стекла (теоретически возможно в данном случае 1,10 %) из стекол дополнительно удаляются  $CO_2$  из неполностью разложившегося  $Na_2CO_3$  [4], а также очевидно происходит активное улетучивание  $B_2O_3$ . На основе стекол оптимальных составов с использованием плазменной установки (интервал температур 1200–1600 °С) изготовлена опытная партия ПСМ размером 20–100 мкм, средним диаметром – 75 мкм и толщиной стенки – 1–2 мкм. Насыпная плотность – 0,252 кг/м<sup>3</sup>.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бобкова, Н.М. Особенности поведения сульфата натрия в силикатных расплавах / Н.М. Бобкова, Е.Е. Трусова // Известия НАНРБ. Серия химических наук. – 2016. – № 2. – С. 122–126.
2. Glass frit useful for the preparation of glass bubbles, and glass bubbles prepared by using it: patent US 5064784A / O. Saito, N. Yagi, Y. Ito; Tokai Kogyo Co., Ltd. – № 510560; date of filed: 18.04.1990; date of patent: 12.11.1991.
3. Будов, В. В. Выбор составов стекол для получения полых микросфер / В. В. Будов, В. Я. Стеценко // Стекло и керамика. – 1988. – № 8. – С. 15–16.
4. Колесова В. А. О сульфатных группировках в сетках щелочно-сульфатносиликатных стекол / В. А. Колесова, И. С. Игнатъев, Н. Е. Калинина // Физика и химия стекла. – 1976. – Т.2, № 5. – С. 400–404.

УДК 691.3

**ЭНЕРГО- И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫЕ  
ВЫСОКОКРЕМНЕЗЕМИСТЫЕ ЩЕЛОЧЕАКТИВИРОВАННЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Н.Н. Клименко, Н.Ю. Михайленко, А.С. Чайникова  
ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева», г. Москва

В настоящее время одним из путей «устойчивого развития» является разработка эффективных строительных материалов. Актуальным трендом является расширение производства бесцементных вяжущих с низкими затратами энергетических и природных минеральных сырьевых ресурсов и использованием побочных продуктов и отходов промышленности. Наиболее интенсивно ведутся исследования по разработке щелочеактивированных материалов, которые отличаются от клинкерных вяжущих химическим и минеральным составом; эффективностью в решении проблем ресурсо- и энергосбережения и отсутствием выбросов загрязняющих окружающую среду веществ, в том числе  $\text{CO}_2$ ; широким диапазоном сырьевой базы; повышенной стойкостью к воздействию атмосферной коррозии, химических сред, высокой температуры и радиации; широтой номенклатуры материалов на их основе и областей применения. Исследователи [1, 2] особенно подчеркивают экономические и экологические преимущества щелочеактивированных материалов (другое название – геополимеры), к классу которых относятся и разрабатываемые высококремнеземистые материалы на жидкостекольном связующем.

Проблема создания эффективных строительных материалов особенно актуальна в связи с увеличением объёмов строительства в России, активно развивающихся в рамках программы Правительства РФ «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года». Энергоэффективность и энергосбережение утверждены Указом Президента РФ от 2011 г. в качестве приоритетных направлений развития науки, технологий и техники. Исследование и разработка экологически безопасных и энергоэффективных строительных материалов является также одним из ключевых направлений, финансируемых в рамках европейской программы по научным исследованиям и инновациям «Горизонт 2020».

Одним из основных направлений развития современного строительного материаловедения является разработка новых видов эффективных материалов с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. С точки зрения энерго- и ресурсоэффективности высококремнеземистые композиты безобжигового твердения на основе природного кварцевого сырья, промышленных отходов и ще-

лочных связующих являются перспективными. Среди преимуществ высококремнеземистых щелочеактивированных материалов можно выделить следующие: использование дешевых и недефицитных сырьевых материалов, в том числе отходов промышленности; использование несложной технологии, не требующей специального оборудования; отсутствие высокотемпературной обработки; повышенные эксплуатационные свойства (высокая прочность, морозостойкость, абразивоустойчивость). Перечисленные преимущества позволяют рассчитывать на конкурентоспособность разрабатываемых безобжиговых высококремнеземистых материалов и изделий на их основе.

Согласно литературным данным [2], один из серьезных недостатков цементных вяжущих – это повышенная капиллярная пористость цементного камня и его щелочность ( $pH > 13,0$ ), которые создают условия для взаимодействия с окружающей средой (карбонизации, растворения), что может привести к разрушению цементного камня. На этом основании некоторые исследователи говорят о невысокой прочности и долговечности цементных вяжущих. Щелочеактивированные материалы, напротив, рассматриваются как наиболее долговечные в силу значительных отличий в химическом, минералогическом и фазовом составе [3]. При создании щелочеактивированных вяжущих моделируются процессы формирования минералов земной коры и камнеподобных горных пород, а именно цеолитов, устойчивых к воздействию атмосферных факторов.

Таким образом, актуальная задача создания долговечных ресурсо- и энергоэффективных композиционных материалов с повышенными физико-механическими свойствами и повышенным сопротивлением коррозии, в том числе биологической, требует нахождения ответов на ряд вопросов, касающихся механизмов атмосферной, биологической и химической коррозии безобжиговых щелочеактивированных систем; создания и реализации комплекса методов воздействия на структуру, фазовый и минералогический состав материала на стадии его проектирования.

Целью данного исследования является оценка и прогнозирование долговечности разрабатываемых безобжиговых материалов на основе щелочеактивированных высококремнеземистых композиций; изучение закономерностей управления процессами структурообразования в щелочеактивированных высококремнеземистых системах, обеспечивающих формирование искусственного камня с повышенными физико-механическими свойствами и коррозионной устойчивостью, в том числе к биофакторам, за счет определенного фазового состава и поровой структуры.

На кафедре химической технологии стекла и ситаллов РХТУ им. Д.И. Менделеева синтезированы высококремнеземистые материалы (до 95 мас. %  $\text{SiO}_2$ ) на основе кварцевого песка, гранулированного доменного шлака и жидкостекольного связующего с использованием энергоэффективной безобжиговой технологии и комплексной активации сырьевых смесей (механической, химической, термической) с уровнем эксплуатационных характеристик не ниже следующих: прочность при сжатии – 95–140 МПа; прочность при изгибе – 20–50 МПа; истираемость 0,09–0,15 г/см<sup>2</sup>; водостойкость ( $K_{\text{размягчения}}$ ) – 0,8–1; биостойкость (степень обрастаемости грибами – 0); морозостойкость F100; химстойкость по отношению к неорганическим кислотам не менее 95 %, химстойкость по отношению к щелочам не менее 98 %.

Предложена и экспериментально обоснована технологическая схема получения безобжиговых высококремнеземистых материалов на жидкостекольном связующем. Оптимизированы технологические параметры отдельных стадий, в зависимости от состава сырьевых смесей рекомендована низкотемпературная сушка или тепловлажностная обработка заготовок при температуре 80–90 °С.

Исследовано влияние состава и структуры высококремнеземистых материалов на их физико-химические и механические свойства. Установлена роль основных сырьевых компонентов, связующего и модифицирующих добавок на процессы формирования искусственного камня, его фазового и минералогического состава, поровой структуры[4]. Эффективным фактором повышения прочности композиций на жидкостекольном связующем (в 5–6 раз) является механоактивация кварцевого песка, обуславливающая в результате увеличения его удельной поверхности возрастание дефектности кристаллической решетки и частичную аморфизацию зерен кварца, что в комплексе приводит к повышению реакционной способности песка и интенсификации его взаимодействия с жидким стеклом.

В результате комплексного исследования безобжиговых высококремнеземистых материалов методами лазерного спектрального анализа, ИК- и КР-спектроскопии, РФА, ДТА, СЭМ выявлены особенности и предложены механизмы их твердения и структурообразования, зависящие от состава сырьевой смеси и условий ее твердения[4]. Ключевую роль в структурообразовании материалов на основе кварцевого песка при низкотемпературной сушке играет формирование и полимеризация аморфного кремнегеля (дегидратационно-полимеризационный механизм). В присутствии доменного шлака при тепловлажностной обработке наблюдается повышение интенсивности

процессов гелеобразования, выделение CSH–геля и его кристаллизация (дегидратационно-кристаллизационный механизм).

Подобран вид модифицирующих добавок, придающих фунгицидные свойства высококремнеземистым щелочеактивированным материалам. Получен набор экспериментальных данных, который позволяет сравнить устойчивость разрабатываемых высококремнеземистых материалов и традиционных вяжущих материалов, а также оценить влияние временного фактора на изменение свойств высококремнеземистых материалов [5].

Исследования выполнены на оборудовании кафедры химической технологии стекла и ситаллов, кафедры биотехнологии и Центра коллективного пользования РХТУ им. Д.И. Менделеева

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-33-01095 мол\_а).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Provis J.L., Palomo A., Shi C. Advances in understanding alkali-activated materials //Cement and Concrete Research. – 2015.
2. Provis J.L. Alkali-activated materials //Cement and Concrete Research. – 2017.
3. Zhang J. et al. Durability of alkali-activated materials in aggressive environments: A review on recent studies //Construction and Building Materials. – 2017. – Т. 152. – С. 598–613.
4. Михайленко Н.Ю., Клименко Н.Н. Оптимизация технологических параметров синтеза высококремнеземистых жидкостекольных композитов строительного назначения // Стекло и керамика. – 2013. – №. 5. – С. 11–17.
5. Михайленко Н.Ю., Клименко Н.Н., Бабусенко Е.С. Высокремнеземистые композиционные материалы с повышенным сопротивлением биокоррозии // Материаловедение. – 2017. – №. 5. – С. 43–47.

УДК 543.52

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ НОРМ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СТРОИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

А.Г. Губская, Т.А. Вашкевич, Н.И. Ушакова

Государственное предприятие «Институт НИИСМ», г. Минск

Природные источники ионизирующего излучения вносят основной вклад в дозу облучения населения. Средняя эффективная эквивалентная доза, обусловленная природными источниками, составляет

около 2/3 дозы от всех источников ионизирующего излучения, воздействующих в настоящее время на человека.

В большинстве промышленно развитых стран уже сформировалась как правовая, так и методическая база по снижению уровня облучения населения от природных источников. основополагающим документом, определяющим правовые основы решения данной задачи в рамках глобальной проблемы обеспечения радиационной безопасности населения, является Закон Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения», утвержденный Президентом Республики Беларусь 5.01.98 г. № 122-3.

В соответствии с этим законом под радиационной безопасностью населения понимается состояние защищенности настоящего и будущего поколения людей от вредного для здоровья воздействий ионизирующего излучения. Закон устанавливает право граждан на радиационную безопасность. Это право обеспечивается за счет проведения комплекса мероприятий по предотвращению радиационного воздействия на организм человека ионизирующего излучения.

Для обеспечения радиационной безопасности населения при воздействии радионуклидов законом (статья 13) в строительном комплексе предписывается проведение производственного контроля строительных материалов. Закон запрещает использование строительных материалов и изделий, не отвечающих требованиям к обеспечению радиационной безопасности, и предусматривает административную гражданско-правовую ответственность за невыполнение требования по обеспечению радиационной безопасности.

Для материалов, используемых: в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях значение удельной эффективной активности естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) не должно превышать 370 Бк/кг (I класс); в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений – не более 740 Бк/кг (II класс), в дорожном строительстве вне населенных пунктов – не более 1350 Бк/кг (III класс). При  $1350 \text{ Бк/кг} < A_{эфф} < 4000 \text{ Бк/кг}$  (IV класс) вопрос об использовании материалов решается в каждом случае отдельно по согласованию с республиканским органом санитарно-эпидемиологической службы РБ. При  $A_{эфф} > 4000 \text{ Бк/кг}$  материалы не должны использоваться в строительстве.

Необходимо отметить, что проведение ежегодного радиационного контроля продукции для подавляющего большинства предприятий республики, выпускающих строительные материалы и конструкции, не зависимо от форм собственности стало уже реальностью. Дан-

ный показатель в обязательном порядке введен в паспорта на готовую продукцию. Обязателен радиационный контроль и для импортируемых строительных материалов. Исследования показывают, что строительные материалы, производимые предприятиями республики, относятся к первому классу ( $A_{эфф}$  менее 370 Бк/кг) и могут использоваться во всех видах строительства без ограничений. К сожалению, у импортируемой из-за рубежа продукции эти требования соблюдаются не всегда. Особенно это касается гранитов, которые используются для отделки зданий и сооружений, а также в ряде случаев – керамических изделий.

В последнее время в мировой практике особое внимание уделяется проблемам ограничения облучения от радона и его дочерних продуктов (ДПР), находящихся в воздухе жилых и других помещений.

Известно, что до 50% радиационного фона помещений обусловлено радоном и ДПР. Важность проблемы защиты от радона (уменьшение уровней радона в жилых зданиях и на рабочих местах) привела к внесению изменений в Директивы Евратома [1] с требованием от всех государств-членов Евросоюза наличия национальных «Планов действий» по радону.

Радон считается предвестником землетрясений. Исходя из этого, Беларусь всегда считалась радонобезопасной. Однако это далеко не так. С геологической точки зрения, радоноопасными участками местности являются места геологических разломов. По литературным данным более 40% территории Белоруссии относится к разряду радоноопасных, что связано с неглубоким залеганием генерирующих радон гранитоидов кристаллического фундамента, с широким развитием активных разрывных нарушений, дренирующих глубинные зоны эманирования, а также очагами разгрузки подземных минерализованных вод [2]. Исследованиями геофизической экспедиции ПО «Беларусьгеология» аномально высокие содержания радона в почвенном воздухе надразломных зон установлены на Горецко-Шкловском и других участках области. При среднефоновых концентрациях около 1000 Бк/м<sup>3</sup> содержание радона в почвенном воздухе зон активного разлома возросло до 15000–25000 Бк/м<sup>3</sup>. В Минске, например, есть два разлома, проходящие через весь город. Первый – по линии Щемыслица – Уручье проходит примерно через Курасовщину, Минск-Южный, район тракторного завода, Степянку. Второй – параллельно линии Семково – Сосны, примерно через улицу Варвашени, район улицы Кошевого, площадь Победы и вторая его часть от площади Независимости вдоль улицы Тимирязьева через Веснянку и дальше.

Важность решения проблем защиты от радона подтверждают исследования Могилевского центра гигиены и эпидемиологии, согласно которым заболеваемость раком легким в Могилевской области продолжает устойчиво занимать первое место в структуре онкологических заболеваний населения. По предварительной оценке годовые дозы облучения населения от радона и его продуктов распада составили для Могилевской области 1,4–2,6 мЗв, при среднем значении для населения земного шара около 1,0 мЗв [3].

В настоящее время в Республике Беларусь установлены уровни вмешательства, согласно которых содержание радона в новых жилых и общественных зданиях не должно превышать 100 Бк/м<sup>3</sup>, а при эквивалентной равновесной объемной активности радона и торона (ЭРОА) в эксплуатируемых зданиях свыше 200 Бк/м<sup>3</sup> решается вопрос проведения защитных мероприятий. Необходимость устройства системы защиты от радона на стадии проектирования определяется плотностью потока радона с поверхности грунта земельного участка под строительство. При плотности потока радона более 80 мБк/(м<sup>2</sup>·с) в проекте в обязательном порядке должна предусматриваться система защиты от радона.

Основной источник радона – почва под зданием. Из почвы под зданием и строительных материалов радон мигрирует по порам и трещинам. Происходящие при этом процессы обусловлены двумя основными механизмами – диффузионным, то есть наличием градиента концентрации радона в среде и конвективным, вызванным наличием разности давлений между внутренним объемом здания и внешней атмосферой, различными частями здания. Потенциальным источником радона может являться вода, используемая для хозяйственных и бытовых нужд. При контакте воды с атмосферой помещения (особенно при разбрызгивании воды) происходит выделение растворенного в воде радона в воздух.

Пути проникновения радона могут стать практически любые неплотности в оболочке здания, расположенные ниже уровня земли: трещины в перекрытиях, открытые участки почвы в подвальном помещении или подпольном пространстве, вводы труб и коммуникаций, стыки между плитами и блоками и др.

Технические решения по противорадоновой защите изложены в ТКП 45-2.03-134-2009 «Порядок обследования и критерии оценки радиационной безопасности зданий и сооружений», разработанном Государственным предприятием «Институт НИИСМ».

Необходимо отметить, что принятые меры на стадии проектирования зданий по снижению радона, всегда будут обходиться на-

много дешевле, чем любые меры по радонозащите в уже существующем здании.

Таким образом, обеспечение выполнения норм радиационной безопасности в строительном комплексе Республики Беларусь за счет снижения облучения от естественных и искусственных радионуклидов, содержащихся в строительных материалах и конструкциях, облучения от радона, будет способствовать улучшению экологической обстановки в республике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Council Directive 2013/59EURATOM of December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation, and repealing // Official Journal of the European Union.– 17.1.2014. – 73 p. –Availableat:http://eur.

2. РадонвприродныхитехногенныхкомплексахБеларуси/ А.В. Матвеев, А.П. Стародубова, А.В.Кудельскийидр. // Литосфера.- Мн., 1996. – №5. – С.27–35.

3. Губская А.Г., Липницкий Л.В., Лярский С.П. Решение проблемы защиты населения Могилевской области от воздействия радона // Белорусский строительный рынок. Мн., 2003. – №17–18. – С. 20–21.

УДК 691.54

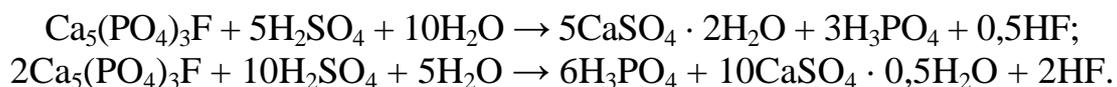
#### **ПОДГОТОВКА СУЛЬФАТНЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ДЛЯ СУЛЬФОАЛЮМОФЕРРИТНЫХ ЦЕМЕНТОВ**

Р. Каминская<sup>1</sup>, А. Эйсинас<sup>1</sup>, А.А. Мечай<sup>2</sup>, Е.И. Барановская<sup>2</sup>

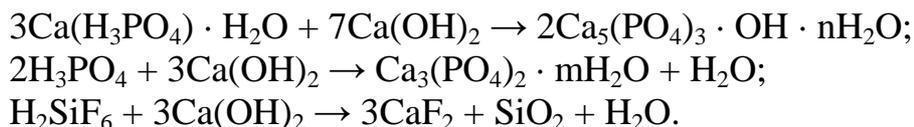
<sup>1</sup>Каунасский технологический университет, г. Каунас

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Ежегодно в мире в отвалах складировается около 150 миллионов тонн техногенного гипса. Поэтому проблема утилизации этих отходов решается в глобальном масштабе. Только в Литве в процессе экстракции фосфорной кислоты серной кислотой из апатитов на свалки транспортируется около 1 млн. тонн в год полугидрата фосфогипса (E-PG). Фосфогипс может быть получен в дигидратном или полугидратном состоянии с учетом технологического регулирования процесса экстракции фосфорной кислоты из апатита:



Особенно вредны растворимые кислые соединения фтора и фосфора, блокирующие гидратацию гипсового вяжущего и осложняющие возможность использовать фосфогипс для других целей. Чтобы избежать отрицательных эффектов вышеуказанных кислых примесей на возможность использования гипсового вяжущего, необходимо нейтрализовать их щелочными добавками. Наиболее исследованы процессы нейтрализации, происходящие при репульпации фосфогипса с необходимым количеством гидроксида кальция:



Тот факт, что до сих пор один из самых многотоннажных минеральных отходов – E-PG – не используется в качестве недорогого технологического сырья, показывает, что эта проблема не решена ни глобально, ни на национальном уровне.

В Литве были разработаны две технологии, предназначенные для переработки дигидратного или полугидратного фосфогипса. Для переработки дигидратного фосфогипса была предложена технология получения фосфоангидрита [1], суть которой заключается в следующем. Кислый фосфогипс нейтрализуется известковым молоком в мельницах для глины, добавляется глина и дисперсная активная добавка, содержащая аморфный  $\text{SiO}_2$ . Состав сырьевой смеси включал, мас. %: фосфогипс – 79,0–79,0, глина – 16,0, активный  $\text{SiO}_2$  – 4,0, известь гидратная – 0,5–1,0. Полученная смесь обжигается во вращающейся печи при температуре 850–900 °С, а охлажденный гранулят подвергается помолу с получением ангидритового цемента. Основные физико-механические свойства: начало схватывания – 1 ч 20 мин, конец – 2 ч 15 мин, прочность на сжатие через 28 суток – 20–30 МПа, на изгиб 3–4,5 МПа.

Эта технология стала неработоспособной после модернизации технологии производства фосфорной кислоты, поскольку в качестве побочного продукта образуется полугидрат сульфата кальция, который при транспортировке сырья затвердевает. В отвалах такой материал постепенно превращается в искусственный камень (прочность на сжатие ~ 10 МПа) и его переработка становится крайне затруднительной.

Для переработки полугидратного фосфогипса была предложена технология, которая основана на новых принципах его механической активации [2–4]. Суть технологии заключается в следующем. Неостывший (60–70 °С) полугидратный фосфогипс вместе с нейтрализующими добавками механически активируется в дезинтеграторе. В ходе

активации разрушается исходная кристаллическая структура фосфогипса и из ее капиллярных дефектов и пустот удаляются кислые примеси. Добавки, имеющие основной характер (портландцемент, MgO, карбонатная опока и др.), интенсивно нейтрализуют кислую среду, в том числе кислые соединения, высвобождаемые при разрушении первичной структуры. При правильном подборе нейтрализующей добавки растворимых кислых соединений, блокирующих гидратацию и твердение Е-РГ, почти не остаётся. Создаётся структура вяжущего материала с новыми функциями, свойствами и возможностями использования.

Предлагаемая технология позволяет использовать подготовленный фосфогипс для синтеза сульфоалюминатных или сульфоалюмоферритных цементов.

Для исследования использовались фосфогипс, карбонатная опока и глина с достаточным содержанием оксида алюминия. Химический состав сырья приведен в таблице 1.

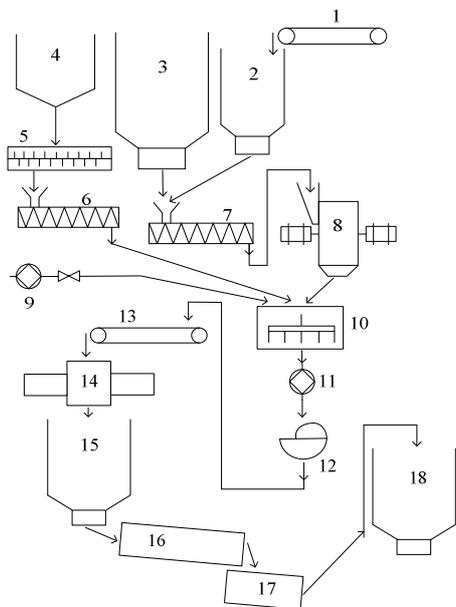
Принимая во внимание рН фосфогипса (2,37), состав смеси был подобран так, чтобы содержание карбоната кальция в опоке было достаточным для нейтрализации фосфогипса и подъема рН до нейтрального(7,1).

Средний состав сырьевой смеси для первоначальной нейтрализации: 91,5–93,6% фосфогипса и 7,4–9,5 % карбонатной опоки. После нейтрализации в систему добавляется 15% глины. Некоторые технологические параметры: влажность смеси фосфогипса и карбонатной опоки – 26,5%, рН –7,1, влажность смеси с добавленной глиной и водой – 70%, влажность отфильтрованной смеси – 45%. Принципиальная технологическая схема представлена на рисунке 1.

**Таблица 1– Химический состав сырья**

Содержание оксидов в сырье, мас.%	Карбонатная опока	Фосфогипс	Глина
SiO <sub>2</sub>	54,1	–	56,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,7	0,1	19,36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	0,1	7,78
CaO	23,2	30,45	0,88
MgO	0,62	–	2,09
Na <sub>2</sub> O	0,24	–	0,31
K <sub>2</sub> O	0,87	–	3,61
SO <sub>3</sub>	–	44,6	–
F	–	0,3	–
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	–	1,45	–
п.п.п.	16,97	41,63	9,85

Важно отметить, что смесь нейтрализованного фосфогипса, карбонатной опоки и глины обладает вяжущими свойствами – начало схватывания составляет 25 мин., конец – 38 мин., т.е. весь технологический процесс до окончания грануляции должен длиться не более 25 минут. Химический состав продукта (%):  $\text{SO}_3$  – 29,  $\text{CaO}$  – 25,5,  $\text{SiO}_2$  – 13,2,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 3,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,17.



1 – конвейер фосфогипса, 2 – промежуточный бункер дозатором, 3 – бункер опоки дозатором, 4 – бункер глины, 5 – разрыхлитель, 6 – винтовой дозатор, 7 – винтовой транспортер, 8 – дезинтегратор, 9 – дозатор воды, 10 – смеситель, 11 – дозирующий насос, 12 – барабанный вакуумный фильтр, 13 – транспортер, 14 – роторный гранулятор, 15 – бункер дозатором, 16 – вращающаяся печь, 17 – охладитель, 18 – бункер продукта.

**Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема производства сульфатного компонента длясульфоалюмоферритных цементов**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андриюшене А. и др. Способ получения ангидритного вяжущего. Патент № 44387882333-089081. 1989.
2. Валужене Б., Каминскас А. и др. Метод получения гипсового связующего материала. Патент № EN 4698 В, 25.09.2000.
3. Kaminskas A., Rimkevičius M. Extractive Semihydrate Gypsum ( $\text{E-CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ ). *Material science*. 2000, Vol. 6, N. 4, p. 325–329.
4. Римкевичюс М., Каминскас А. и др. Свойства механически активированного экстракционного фосфогипса. *Modern building materials, structures and techniques. Abstracts of the 7 international conference*. Vilnius: Technika, 2001, p. 68–69.

УДК 691.3

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА  
ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ ПО ЕВРОПЕЙСКИМ НОРМАМ  
И ДЕЙСТВУЮЩИМ ТЕХНИЧЕСКИМ НОРМАТИВНЫМ  
ПРАВОВЫМ АКТАМ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

И.А. Белов<sup>1</sup>, Н.П. Богданова<sup>1</sup>, О.Г. Бацевичус<sup>1</sup>,  
А.А. Мечай<sup>2</sup>, Е.И. Барановская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГП «Институт НИИСМ», г. Минск

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

В настоящее время в Республике Беларусь функционирует 12 крупных производителей ячеистого бетона с годовым выпуском изделий около 4,5 млн. м<sup>3</sup>. На ряде предприятий произведена реконструкция, установлены новые технологические линии, позволяющие производить блоки точных геометрических размеров. Высокое качество изделий из ячеистого бетона явилось определяющим фактором в разработке и совершенствовании технической нормативной базы на ячеистый бетон и изделия на его основе. Основным видом продукции из ячеистого бетона является стеновой блок автоклавного твердения, выпускаемый по СТБ 1117-98 «Блоки из ячеистых бетонов стеновые. Технические условия».

В Европейском Союзе разработана единая система стандартов на продукцию, обязательная для применения во всех странах. Для снятия определенных технических барьеров с 2008 г. в Республике Беларусь введены в действие европейские стандарты СТБ EN 771-4 «Требования к изделиям для каменной кладки. Часть 4. Строительные блоки из автоклавного ячеистого бетона», а также серия СТБ EN 772, СТБ EN 680 на методы испытаний строительных блоков. При поставке блоков в страны Евросоюза соответствие блоков определяется по СТБ EN 771-4.

Требования к ячеистому бетону по размерам и предельным отклонениям от размеров в европейских нормах и в СТБ 1117-98 практически аналогичны, но имеются и отличия. Сравнительный анализ требований основных физико-механических показателей приведен в таблице 1.

Требованиями ТКП 45-2.04-43-2006 «Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования» с 2009 г нормативное сопротивление теплопередаче повышено с 2,5 до 3,2 м<sup>2</sup> С/Вт. Что это означает для производителей ячеисто-бетонных изделий и строителей?

При сопротивлении теплопередачи 2,5 м<sup>2</sup> С/Вт ячеистый бетон плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> и толщине 400 мм полностью обеспечивал требуемую теплозащиту.

**Таблица 1 – Сравнительный анализ требований по регламентируемым  
ТНПА показателям для блоков из ячеистого бетона**

Основные показатели	СТБ 1117-98	СТБ EN 771-4-2007
Средняя плотность	Регламентируется марками бетона по средней плотности от D350 до D1100 в диапазоне $\pm 25 \text{ кг/м}^3$	Плотность нетто в сухом состоянии от 300 до 1000 $\text{кг/м}^3$ . Отклонения плотности блоков в сухом состоянии от декларируемых значений не должны превышать $\pm 50 \text{ кг/м}^3$
Влажность	Не должна превышать, % по массе: 25 – на основе песка; 35 – на основе золы; тонкомолотой извести и отходов ячеисто-бетонного производства.	Не нормируется
Водопоглощение	Не нормируется	Для всех видов блоков, применяемых в конструкциях снаружи с незащищенными лицевыми поверхностями, изготовитель должен указывать максимальное значение водопоглощения блоков через 10, 30 и 90 мин (водопоглощение при капиллярном подсосе).
Паропроницаемость	Для блоков, применяемых в наружных строительных конструкциях, а также в случаях, когда это требуется для предусмотренных областей применения и нормируется ТКП 45-5.03-137	Регламентируется строительными нормами
Усадка при высыхании бетона	Не более 0,5 мм/м – на кварцевом песке; 0,7 мм/м – на других кремнеземистых компонентах	Значение усадки не регламентируется. Когда обусловлено предусмотренной областью применения, изготовитель определяет усадку в соответствии с СТБ EN 680
Теплопроводность	Значения регламентируются требованиями СТБ 1570 и ТКП 45-2.04-43-2006 (02250) Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования	Регламентируется строительными нормами
Морозостойкость (долговечность)	F 50, F35, F25 – для блоков наружных стен; F 25 – для блоков внутренних стен подвалов, подвергающихся воздействию температур ниже минус 15 °С	Не нормируется, но в случаях, когда обусловлено областью применения, изготовитель должен провести испытания на морозостойкость

Расчеты показывают, что при применении ячеисто-бетонных блоков плотностью 500 толщина стены для достижения нормативного сопротивления теплопередаче  $3,2 \text{ м}^2 \text{ С/Вт}$  должна быть 500 мм. А это приводит к повышению материалоемкости и стоимости строительства. Если сохранить толщину стены 400 мм, тогда для достижения нормативного термосопротивления необходимо использовать ячеистый бетон плотностью  $400 \text{ кг/м}^3$ . Исходя из этого, основным направлением работы по повышению эффективности производства ячеистого бетона является снижение его плотности с сохранением свойств по прочности и морозостойкости, свойственных бетону плотностью 500.

Существует множество спорных мнений по вопросу оценки морозостойкости ячеистых бетонов. Большинство оппонентов считает возможным полное исключение контроля морозостойкости исходя из того, что данный показатель не регламентируется в некоторых европейских странах. Тем не менее, согласно СТБ EN 771-4 в п. «5.7 Долговечность» указывается что: «До выхода соответствующего европейского стандарта, когда это предусмотрено областями применения изделий, изготовитель проводит испытания изделий на морозостойкость и указывает значение морозостойкости со ссылкой на документы, действующие на территории их применения».

Накопленный в настоящее время в Республике Беларусь опыт по долговечности однослойных конструкций позволяет утверждать, что требования по обязательному соответствию конструкционно-теплоизоляционного ячеистого бетона марки по морозостойкости не ниже F25 являются обоснованными с учетом климатических особенностей нашего региона. По данным испытательного центра Государственного предприятия «Институт НИИСМ» все производители конструкционно-теплоизоляционного бетона обеспечивают марку не ниже F25 при соблюдении технологических параметров производства.

Согласно требованиям СТБ EN 771-4 декларируемое значение прочности при сжатии для блоков из ячеистого бетона должно быть не менее  $1,5 \text{ МПа}$  ( $\text{Н/мм}^2$ ) независимо от плотности.

Для блоков стеновых из ячеистых бетонов автоклавного твердения класс бетона по прочности на сжатие в зависимости от плотности регламентируется в СТБ 1117-98 от В1,0 до В12,5. Фактическая прочность бетона должна соответствовать требуемой, назначаемой по ГОСТ 18105 в зависимости от нормируемой прочности бетона, указанной в заказе, и от показателей фактической однородности бетона (п. 4.2.1.4 СТБ 1117-98).

Класс бетона устанавливается в соответствии с ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности».

Приемка бетона осуществляется путем сравнения его фактической прочности с нормируемой, с учетом характеристик однородности бетона с учетом среднего коэффициента вариации.

В качестве характеристик однородности бетона, используемой при контроле для определения требуемой прочности  $R_T$ , вычисляют средний коэффициент вариации прочности  $V_{п}$ .

По ГОСТ 18105-2010 продолжительность контролируемого периода, в течение которого может использоваться установленное значение требуемой прочности, следует принимать от одной недели до одного месяца. В течение анализируемого периода для каждой партии бетона вычисляют среднее квадратичное отклонение и коэффициент вариации прочности, а затем рассчитывают среднее значение партионного коэффициента вариации прочности бетона за анализируемый период. Для автоклавного ячеистого бетона коэффициент требуемой прочности ( $K_T$ ), в зависимости от коэффициента вариации, изменяется от 1,08 до 1,57.

Наиболее востребованным бетоном на сегодняшний день является бетон марки по средней плотности D500 класса B2,5. В соответствии с формулой для расчета требуемой прочности в начальный период (п. 4.4 ГОСТ 18105) для ячеистого бетона B2,5 прочность должна быть не менее 3,93 МПа, а при постоянном выпуске, за анализируемый период, требуемая прочность может снизиться до 2,70 МПа.

В связи с разночтениями при оценке класса бетона по прочности, которые возникают в спорных ситуациях между потребителем и изготовителем, в случае, когда отбор проб производится в «слепую», класс бетона по прочности по пробам из отобранной партии не совпадает с классом бетона производителя. У некоторых производителей коэффициент вариации прочности менее 6 %, а разброс значений по плотности достигает 50 кг ( $\pm 25$ ). Это можно объяснить отбором блоков для контроля прочности из одного и того же места в массиве. Подобных разночтений нет при оценке прочности по европейским нормам.

При определении прочностных свойств бетона по европейским нормам СТБ EN 772-1 в качестве характеристики однородности бетона, используемой при контроле, рассчитывают также среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации прочности бетона, а затем характеристическую прочность, среднюю и нормативную прочность из определенной выборки образцов, на которых проводят испытания на соответствие требований СТБ EN 771-4. Оценка прочностных требований по европейским методам наиболее объективна, так как учитывается конкретная выборка для каждой партии.

На основании вышеизложенного считаем, что при оценке качества блоков стеновых из ячеистого бетона по показателю прочность при сжатии необходимо:

– установить единый и четкий порядок отбора образцов для физико-механических испытаний;

– прочность бетона в маркировке должна указываться не классом бетона по прочности, а конкретным значением, как среднеарифметическое значение и как характеристическое значение прочности при сжатии блоков с указанием коэффициента вариации.

При независимом контроле прочность при сжатии должна быть не менее декларируемого значения, а отдельные значения прочности при сжатии должны составлять не менее 80% от среднего декларируемого значения или 90% от характеристического декларируемого значения как это принято в СТБ EN 771-4.

УДК 553.5

## **ПРОБЛЕМЫ РАСШИРЕНИЯ СЫРЬЕВЫХ БАЗ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОЙМАТЕРИАЛОВ**

М.А. Цюпак

ГП «Институт НИИСМ», г. Минск

Все заводы по производству строительных материалов, входящие в состав Минстройархитектуры, являются основными горнодобывающими предприятиями в Республике Беларусь, что крайне важно для своевременного выполнения геологоразведочных работ по поиску, предварительной, детальной и эксплуатационной разведке месторождений полезных ископаемых с целью восполнения сырьевых баз.

Для успешного развития строительной индустрии в Республике Беларусь первостепенное значение имеют наличие разведанных месторождений полезных ископаемых с балансовыми запасами, обеспечивающих работу горнодобывающих предприятий на нормативный срок их эксплуатации.

На балансе Министерства имеется более 150 месторождений полезных ископаемых, из них порядка 70 – эксплуатируются.

Месторождения сложные по горно-геологическим и горнотехническим условиям залегания полезных ископаемых. Практически все месторождения обводнены. Подразделяются на: цементное и известковое сырье – карбонатные и глинистые породы; глины тугоплавкие; стекольные пески; доломит; камень строительный; камень облицовочный; пески строительные; песчано-гравийная смесь; кирпично-

черепичное сырье; сырье для производства аглопорита и керамзитового гравия.

Карьеры разные, от 100 тыс.м<sup>3</sup> добычи в год до 7,5 млн. м<sup>3</sup>. Глубина отработки 20–30 м (добыча песка, глины), 50–60 м (предприятия по производству цемента, извести, доломита), 150 м – карьер Микашевичи.

Предприятия оснащены мощной техникой: шагающие экскаваторы 6/45, 10/70, автомобили Белаз грузоподъемностью 50–70 тонн.

Качество сырья изменчиво, требуется производить дополнительно геологоразведочные работы и исследования с применением селективной выемки и обогащения.

Решение этих вопросов с учетом ежегодного восполнения сырьевых баз в связи с добычными работами связано с наличием геологической службы (кадровый состав, наличие материальной базы, в т.ч. буровых станков, финансирования) в Министерстве охраны окружающей среды Республики Беларусь, горнодобывающих министерствах и ведомствах.

За последние 3–4 пятилетки и особенно в настоящее время эти вопросы решаются сложно.

Во всех министерствах и ведомствах отмечается нехватка квалифицированных кадров геологов, горных инженеров, маркшейдеров, сокращаются геологоразведочные экспедиции и партии, как в системе Минприроды, так и в республиканских министерствах.

Практически 90% месторождений строительных материалов (гранит, доломит, карбонатное и глинистое сырье, стекольные пески) были выявлены и разведаны в период существования СССР, когда было полностью госбюджетное финансирование с надлежащим контролем за выполнением установленных объемов и программ как на уровне Республики так и в союзных органах.

Переход на частичное финансирование геологоразведочных работ за счет госбюджетных средств, поисковые работы и предварительную разведку выявленных месторождений, а также детальную разведку, которая составляет 75–80 % от всего объема работ до полного изучения месторождения полезных ископаемых с утверждением балансовых запасов за счет предприятий, привело к тому, что промышленные предприятия не располагают средствами, а геологоразведочные экспедиции постоянно сокращают свои объемы с вытекающими последствиями: потерю кадрового состава, нехваткой бурового оборудования.

На балансе Республики Беларусь числится большое количество разведанных месторождений песчано-гравийных материалов, песков

глинистых пород с незначительными запасами 10–50 тыс.м<sup>3</sup> и низкого качества и складывается впечатление, что разведано много и больше нечего тратить средства на бурение скважин, отбор проб с последующим изучением качественного состава.

Требуется сделать ревизию по всем этим месторождениям с экономическим анализом возможности и целесообразности вовлечения их в эксплуатацию.

Разведанные месторождения гранитных пород «Микашевичи», «Ситница», «Глушковичи» с суммарным запасом 600 млн. м<sup>3</sup>, полностью обеспечат потребность строительной отрасли и позволят исключить импорт.

Крайне сложная обстановка с обеспеченностью стекольных заводов качественным кварцевым песком.

В 2017 году завершается эксплуатация Гомельским ГОКом месторождения «Ленино» и начинается разработка нового месторождения «Лениндар».

Учитывая, что резервные месторождения кварцевых песков со значительным превышением по железу, необходимо дополнительное совершенствование технологии обогащения песка на Гомельском ГОКе.

Следует продолжить новые поиски кварцевых песков на более значительных глубинах. Очень остро стоит вопрос восполнения сырьевых баз по строительным пескам, песчано-гравийной смеси и керамическим глинам.

В соответствии с утвержденной Программой освоения месторождений полезных ископаемых и развития минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 2011–2012 гг. и период до 2020 года не полностью решены вопросы силами Государственного предприятия «НПЦ по геологии» Минприроды Республики Беларусь за счет бюджетных средств по выявлению сырьевых баз для большинства предприятий Минстройархитектуры Республики Беларусь с учетом их обеспеченности сырьем на нормативный срок, особенно по расширению сырьевой базы ОАО «Красносельскстройматериалы», где требуется проведение поисков и предварительной разведки карбонатного сырья в радиусе 70 км от предприятия, обеспеченность которого составляет менее 20 лет вместо положенных 75 лет.

Поэтому поиск и разведка новых месторождений карбонатных пород для восполнения сырьевых баз цементных и известковых заводов крайне актуальна.

Следует отметить, что строительство новых цементных заводов выполнялось фирмой «CiticGroup» (Китай) по разработанной НИЛ вяжущих материалов Государственного предприятия «Институт НИ-

ИСМ» сухой технологии взамен мокрого энергозатратного способа с постоянным техническим сопровождением строительства и освоения мощностей специалистами института.

В связи со значительным ростом объемов строительства и большим спросом на портландцемент и строительную известь, которые являются затратными по энергетической составляющей (65% в себестоимости углеводородное топливо), Министерством архитектуры и строительства Республики Беларусь было поручено Государственному предприятию «Институт НИИСМ» выполнить исследования по разработке энергоэффективной технологии получения из сухого молотого доломита месторождения «Руба» магнезиального цемента (каустического доломита) и доломитовой извести.

Исследования свойств и качественных показателей полученных доломитовых вяжущих проводилось в НИЛ вяжущих материалов Государственного предприятия «Институт НИИСМ» на сконструированной в ОАО «Доломит» экспериментальной установке.

Было выпущено 5 опытных партий доломитовой извести 1, 2 и 3 сорта и одна – каустического доломита. В связи с отсутствием инвесторов эта разработка не была внедрена в производство.

Государственное предприятие «Институт НИИСМ» кроме своих прямых задач по разработке и совершенствованию технологий производства строительных материалов и постоянной проверкой их качества, выполняет работы по лабораторно-технологическим исследованиям выявленных и разведанных полезных ископаемых с подбором необходимых компонентов и выпуском образцов готовой продукции путем обжига в высокотемпературных печах (клинкер, известь, керамические изделия, силикатный кирпич, блоки из ячеистого бетона и другие) с заключением по их качественным показателям, с последующей передачей геологоразведочным организациям для утверждения запасов полезного ископаемого в Республиканской комиссии по запасам (РКЗ) Минприроды Республики Беларусь.

Вопросы своевременного восполнения запасов полезных ископаемых взамен добытого сырья за счет прироста запасов при производстве геологоразведочных работ являются основными для предприятий и Министерства. Своевременное решение этих вопросов обеспечит стабильную работу предприятий по производству всех видов строительных материалов.

УДК 691

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ДОБАВКИ СУЛЬФОАЛЮМИНАТНОГО ТИПА НА СВОЙСТВА ТОРКРЕТ – БЕТОНА**

И.П. Павлова, К.Ю. Беломесова

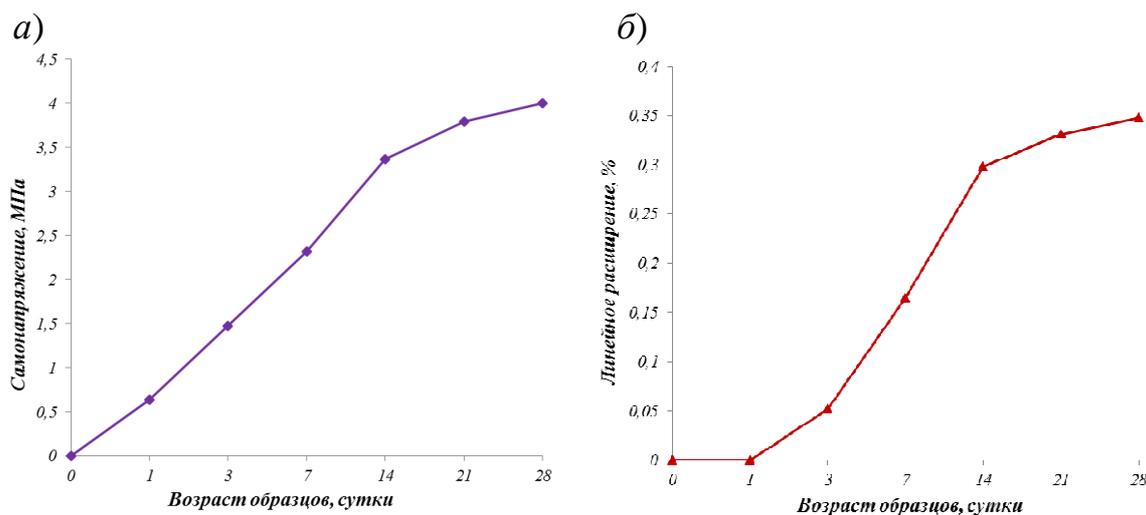
Брестский государственный технический университет, г. Брест

Прогрессивная технология торкретирования бетона в современном строительстве вызывает все больший интерес, как универсальный способ и метод бетонирования. Торкретирование целесообразно в тех случаях, когда необходимо бетонировать строительные конструкции сложной конфигурации, при сооружении пространственных конструкций покрытий зданий (куполов, оболочек), резервуаров различного типа и назначения, плавательных бассейнов, также в тех случаях, когда к бетону предъявляются повышенные требования по водонепроницаемости и морозостойкости. Для получения торкрет-бетона применяют сырьевые компоненты, как и в традиционных тяжелых бетонах. Применяя в качестве вяжущего для торкрет-бетона портландцемент, а с учетом специфики технологии – в достаточно больших количествах, велик риск возникновения усадочных деформаций. Усадка вызывает появление дополнительных внутренних напряжений, которые приводят к микротрещинообразованию структуры, и, как следствие, к снижению эксплуатационной надежности, в том числе водонепроницаемости и морозостойкости, что для торкрет-бетона, который в основном используется для ремонта и гидроизоляции, является серьезной проблемой. Одним из эффективных способов компенсации или частичного снижения усадочных деформаций является применение расширяющихся модифицированных вяжущих, механизм расширения, которых происходит за счет образования повышенного количества этtringита (так называемый «первичный этtringит») [1, с.102].

Цель работы заключается в исследовании влияния расширяющейся сульфоалюминатной добавки на собственные деформации торкрет-бетона, а также влияние расширяющегося вяжущего на прочностные показатели данного бетона.

Основными компонентами расширяющейся добавки, полученной в лабораторных условиях, являются: высокоактивный метакаолинит (ВМК) и природный гипс. Процентное содержание компонентов назначается исходя из условий появления собственных деформаций расширения, что соответствует следующему процентному соотношению ПЦ:ВМК:Г = 80:10:10.

Основными контролируемыми параметрами напрягающего цемента являются величина самоупреждения и линейного расширения согласно [2]. Для определения основных показателей напрягающего цемента (НЦ) использованы методы и оборудование, подробно описанные в СТБ 1335 [2]. На рисунке 1 представлено графическое изображение процесса развития собственных деформаций напрягающего цемента.

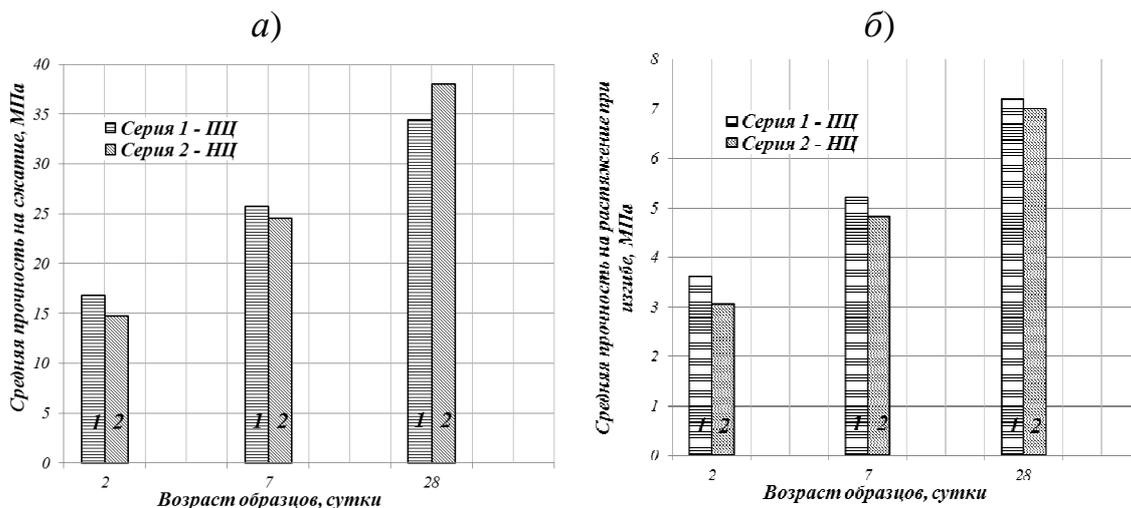


**Рисунок 1 – График развития самоупреждения (а) и линейного расширения (б) во времени**

Таким образом, в результате обработки полученных данных величина самоупреждения цемента образцов-балочек в возрасте 28 суток составила: 4,2 МПа. Полученное значение соответствует марке цемента по самоупреждению НЦ-4 в соответствии с СТБ 1335 [2]. Величина линейного расширения цемента образцов-призм в возрасте 28 суток составила: 0,351 %. Полученное значение величины свободного линейного расширения находится в допустимых пределах, приведенных в СТБ 1335 [2].

Для оценки степени влияния расширяющегося вяжущего на прочностные характеристики торкрет-бетона были сформованы две серии образцов: серия 1 – ПЦ (портландцемент); серия 2 – НЦ (напрягающий цемент). Для исследования смесей было принято  $const \text{ В/Ц} = 0,5$ . Опытные образцы подвергались испытаниям в возрасте 2, 7, 28 суток. Результаты, полученных данных представлены в виде гистограмм на рисунке 2.

Анализируя полученные данные, следует отметить, что опытные образцы на НЦ показали некоторый спад прочности по сравнению с эталоном и в случае испытания на сжатие, и на растяжение при изгибе.



**Рисунок 2 – Прочностные характеристики опытных образцов на сжатие (а) и на растяжение при изгибе (б)**

Минимальный спад прочности можно объяснить следующими эффектами:

1. Использование достаточно активного НЦ (самонапряжение – 4,2 МПа, линейное расширение – 0,351 %), что обусловлено расклинивающим действием этtringита и частичным разуплотнением структуры).

2. Испытание образцов проводилось в возрасте 2, 7 и 28 суток, в то время как для НБ характерен набор прочности и в более поздние сроки твердения.

Анализ выполненных экспериментальных и теоретических исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Экспериментальным путем получен состав напрягающего цемента с высокими показателями свободных деформаций расширения на основе ПЦ, модифицированного РД (представленной высокоактивным метаксаолинитом (ВМК) и природным гипсом (Г)).

2. Применение НЦ в качестве вяжущего для торкрет-бетона позволяет компенсировать негативные усадочные напряжения и создать в ряде случаев деформации расширения;

3. Бетонам на основе напрягающего цемента свойственно набирать прочность в более поздние сроки твердения (после 28 суток), что впоследствии может привести к еще более высоким показателям прочности [3].

4. Для нейтрализации эффекта частичного разуплотнения в высокоактивных напрягающих бетонах в качестве армирующего компонента следует использовать базальтовую фибру, создающую эффект

3D- армирования и позволяющую использовать химическое преднапряжение, что является предметом дальнейших исследований [4].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлова, И. П. Исследование влияния расширяющихся сульфоферритных и сульфоалюминатных добавок на прочностные показатели и собственные деформации цементных систем / И. П. Павлова, Т. В. Каленюк, К. Ю. Беломесова // Весн. БрГТУ., Сер. Строительство и архитектура. – 2016. – №1. – С. 123-127.

2. Цемент напрягающий. Технические условия: СТБ 1335-2002. – Введ. 01.01.2003 – Мн.: Минстройархитектуры, 2002. – 11 с.

3. Тур, В. В. Экспериментально-теоретические основы предварительного напряжения конструкций при применении напрягающего бетона. – Брест, 1998. – 244 с.

4. Беломесова, К. Ю. Цементно-песчаные растворы, армированные базальтовым волокном / К. Ю. Беломесова // Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И. Н. Ахвердова и С. С. Атаева : в 2 ч. / БНТУ. – Минск, 2016. – Ч. 1. – С. 34 – 39.

УДК 691:620.1

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО СОДЕРЖАНИЯ АММИАКА В ЦЕМЕНТЕ И БЕТОНЕ**

А.Г. Губская, Т.И. Дегтярева, А.П. Гапотченко  
Государственное предприятие «Институт НИИСМ», г. Минск

В настоящий момент в развитых странах мира, включая Республику Беларусь, исключительное внимание уделяется проблеме качества жилой среды в помещениях. Проводимые в этой области исследования показывают, что все чаще в воздухе жилых и общественных зданий содержание вредных веществ значительно выше, чем в атмосферном воздухе городов.

Одним из источников химического загрязнения воздушной среды помещений специалисты видят строительные материалы, применяемые при возведении зданий и сооружений. Если для полимерных материалов уже давно проводится большая работа по их санитарно-гигиенической оценке и разработке норм допустимого применения, то для бетона объем таких исследований недостаточен.

Бетон в традиционном понимании как искусственный камень, состоящий из портландцемента, заполнителей на основе горных по-

род и воды – достаточно экологично безопасный материал. Между тем, современная технология производства бетона успешно развивается в направлении химизации и использования техногенных отходов различных производств. В настоящее время в развитых странах мира практически весь применяемый в строительстве бетон содержит различного рода химические и минеральные добавки. Применение добавок является одним из наиболее универсальных, доступных и гибких способов управления технологией бетона. Однако, помимо очевидных преимуществ, данный подход ставит проблемы эколого-гигиенической безопасности бетона, выражающиеся в процессах длительного выделения вредных газообразных продуктов из его состава, влияющих на загрязнение газовой среды в жилых помещениях.

Одним из аспектов данной темы является проблема эмиссии аммиака из бетонных конструкций в помещениях жилых и общественных зданий. Эмиссия аммиака из бетона – явление массовое, встречается во вновь построенных домах и имеет крайне негативный характер.

Впервые о проблеме появления запаха аммиака в квартирах заговорили в 2010 году. Ее пик пришелся на 2010–2011 годы, когда тысячи новоселов, купивших жилье у крупных петербургских застройщиков, после заселения обнаружили в своих квартирах неприятный сюрприз — отчетливый аммиачный запах. В результате лабораторных исследований в жилом комплексе одного из застройщиков было установлено, что концентрация аммиака в воздухе помещений превышает предельно допустимые показатели в 17,6 раза [1, 2]. Большинство экспертов сошлись во мнении, что главным виновником проблемы стал бетон, однако однозначная версия причин на данный момент так и не озвучена.

С такой же проблемой пришлось столкнуться и в нашей республике, когда в одном из построенных в г. Барановичи домов было обнаружено содержание аммиака, превышающее ПДК.

По заданию Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь Государственным предприятием «Институт НИИ-ИСМ» был проведен комплекс исследований по разработке методов определения содержания азотсодержащих соединений в цементах, бетонах, а также ряде добавок, используемых для производства бетона.

В результате проведенных исследований:

- разработаны методы определения содержания азотсодержащих соединений в виде аммиачного и амидного азота;
- установлено, что на содержание азотсодержащих соединений в виде аммиачного азота в цементах оказывает влияние количество

добавки шлака. Содержание азотсодержащих соединений в цементах колеблется от нуля для ПЦ Д0 до 9 мг/кг у ШПЦ и ПЦ Д20;

– азотсодержащие соединения в виде амидного азота в цементах белорусских производителей и бетонах на их основе отсутствуют;

– на содержание азотсодержащих соединений в виде аммиачного азота в бетонах оказывают влияние вид применяемых при их производстве добавок и условия твердения. При естественном твердении у бетонов происходит уменьшение содержания азотсодержащих соединений в виде аммиачного азота: с 9–12 мг/кг до 3,0–0 мг/кг к 28 суткам. В бетонах после тепло-влажностной обработки азотсодержащие соединения в виде аммиачного азота отсутствуют.

– определено безопасное содержание азотсодержащих соединений в цементе (бетоне), равное 20 мг на 1 кг цемента (бетона) [3, 4].

По результатам проведенных исследований внесены изменения в действующие ТНПА: изменение №1 к СТБ 1465-2004 «ЦЕМЕНТЫ. Методики определения добавок», изменение №1 к СТБ 2115-2010 «Портландцемент песчанистый. Технические условия», изменение №1 к СТБ 1112-98 «ДОБАВКИ ДЛЯ БЕТОНА, Общие технические условия».

Таким образом, появилась возможность нормирования содержания азотсодержащих соединений в цементах и бетонах на их основе на стадии производства, что позволит обеспечить соблюдение гигиенических нормативов (не более 200 мг/м<sup>3</sup>) по содержанию аммиака в жилых помещениях зданий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сивков С.П. Эмиссия аммиака из цементных бетонов // Технологии бетона. – 2012. – № 5–6. – С. 15–17.

2. Пухаренко Ю.В., Миронов А.М., Шиманов В.Н., Черевко С.А., Пухаренко О.Ю. Эмиссия аммиака из бетонных конструкций и методы ее снижения // СтройПРОФИ. – 2013. – № 10.

3. Tidy, G. Ammonia concentrations in houses and public buildings / G. Tidy // Atmospheric Environment. – Part A.: General Topics. – 1993. – vol. 27. – Issue 14, Oct. – p. 2235–2237.

4. Фотометрическое определение карбамидов в бетонных смесях / А.В. Булатов [и др.] // Аналитика и контроль. – 2012. – Т. 16. – № 3. – С. 281–284.

УДК 693.6

## НОВЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ВСПЕНЕННОГО ЖИДКОГО СТЕКЛА И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

А.Г. Губская, Г.С. Гарнашевич, И.Н. Горбач  
Государственное предприятие «Институт НИИСМ», г. Минск

Проблема теплосбережения остро встала перед нашей республикой в последние годы. Это связано как с увеличением стоимости энергоносителей, так и с увеличением требований к повышению комфортности жилья.

Решение этих проблем невозможно без использования новых теплоизоляционных материалов, предназначенных для устройства наружной тепловой изоляции новых и эксплуатируемых зданий и сооружений.

В настоящее время около 70 % рынка теплоизоляционных материалов приходится на волокнистые материалы (рисунок 1) [1, 2].

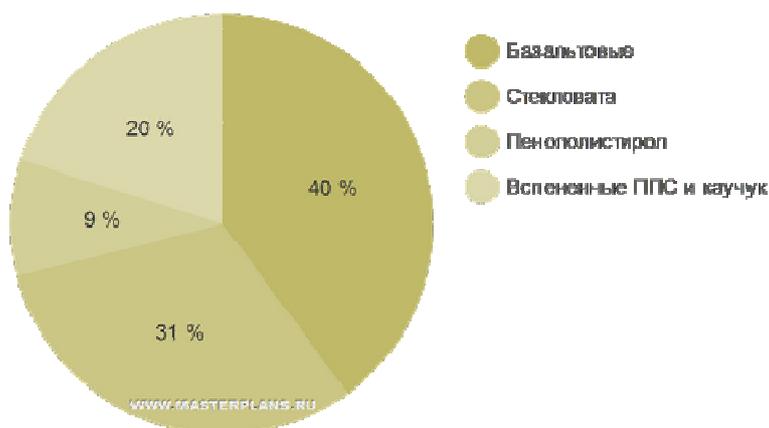


Рисунок 1 –Рынок теплоизоляционных материалов

К наиболее современным видам теплоизоляционных материалов относятся теплоизоляционные материалы из базальтовой ваты и вспененного каучука. При этом доля базальтового волокна составляет 40%, стеклянная вата занимает меньшую долю – 31%. На долю экструдированного пенополистирола приходится около 9% в объеме потребления теплоизоляционных материалов, и около 20% занимает продукция из вспененных пенополистирола и каучука, а также других видов теплоизоляционных материалов.

Лидеры рынка соответственно –ROCKWOOLи K-FLEX. Выйти на рынок теплоизоляционных материалов из минеральной ваты (в основном стекловаты) значительно труднее из-за высокой конкуренции. Базальтовая вата – универсальный вид теплоизоляции. Недостаток ба-

зальной теплоизоляции – высокий удельный вес. Поэтому при организации ее производства надо просчитывать экономически целесообразный радиус поставки. Кроме того, для производства необходимо сырье – базальты.

Теплоизоляционные материалы из вспененного каучука получили наибольшее распространение для изоляции трубопроводов. К их недостаткам можно отнести дорогостоящее оборудование и высокую долю импортных материалов.

Для использования в строительстве современные теплоизоляционные материалы при достаточно низкой стоимости должны иметь:

- низкую плотность;
- низкую теплопроводность;
- высокую паропроницаемость;
- огнестойкость – быть негорючими (НГ);
- быть экологически безопасными: в процессе эксплуатации не выделять вредных веществ;
- обладать достаточной прочностью – устойчивостью к механическим воздействиям и долговечностью.

Однако не все из перечисленных выше теплоизоляционных материалов соответствуют этим требованиям (таблица 1).

**Таблица 1 – Сравнительные свойства теплоизоляционных материалов (по литературным данным)**

Материал	Свойства			Стоимость, бел.руб/м <sup>3</sup>
	плотность, кг/м <sup>3</sup>	теплопроводность, Вт/(м·°С)	паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	
<i>Органические теплоизоляционные материалы</i>				
Пенополистирольные изделия	15–150	0,027–0,052	≈ 0	80–150
Вспененный полиэтилен	20–400	0,029–0,050	≈ 0	15–35
<i>Неорганические теплоизоляционные материалы</i>				
Минераловатные и стекловолокнистые изделия	30–250	0,033–0,060	0,68-0,35	30–180
Пеностекло	180–400	0,074–0,11	≈ 0	300–1100

Анализ показывает, что в последние годы на рынке появляются новые виды теплоизоляционных материалов, особенностью которых является использование в производстве различных техногенных отходов. Это позволяет в значительной степени снизить стоимость материала без потери его качественных характеристик [3].

Государственным предприятием «Институт НИИСМ» были проведены исследования по разработке нового вида теплоизоляционных материалов на основе вспененного жидкого стекла с использованием техногенных отходов. В таблице 2 приведены свойства материалов с использованием различных типов отходов.

**Таблица 2 – Свойства теплоизоляционных материалов на основе жидкого стекла**

Заполнитель	Свойства		
	прочность при изгибе, кПа	плотность, кг/м <sup>3</sup>	теплопроводность, Вт/(м·°С)
Отходы минеральной ваты	232	212	0,055
Отходы минеральной ваты + опилки	156	209	0,051
Отходы шинного корда	140	205	0,049

В таблице 3 приведены сравнительные характеристики разработанного теплоизоляционного материала и теплоизоляционного материала «Этиз», выпускаемого в России.

**Таблица 3 – Сравнительные свойства теплоизоляционных материалов на основе жидкого стекла**

Материал	Свойства			Стоимость, бел.руб/м <sup>3</sup>
	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/(м·°С)	Паропроницаемость, мг/(м·ч·Па)	
Разработанный теплоизоляционный материал на основе вспененного жидкого стекла	140–200	0,049–0,55	0,20–0,15	150–261
«Этиз» (РФ)	100–250	0,032–0,060	0,15–0,11	150–300

Разработанная технология прошла апробацию на технологической линии ОАО «ПМК-83 Водстрой», Могилев.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. [http://www.masterplans.ru/images/market\\_share\\_tim.png](http://www.masterplans.ru/images/market_share_tim.png)
2. [http://www.masterplans.ru/proizvodstvo\\_tim.html/WG8iImZAOFWveLcb.99](http://www.masterplans.ru/proizvodstvo_tim.html/WG8iImZAOFWveLcb.99).
3. Фиговский О.Л., Бейлин Д.А., Пономарев А.Н. Успехи применения нанотехнологий в строительных материалах// Нанотехнологии в строительстве. – 2012. – №3. – С.6–21.

УДК 677.494

**ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫЕ ВОЛОКНА – СЫРЬЕ  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ,  
ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

<sup>1</sup>И.С. Городнякова, <sup>1</sup>П.В. Чвиров, <sup>1</sup>Л.А. Щербина, <sup>2</sup>Ю.Ф. Коско,  
<sup>2</sup>К.Ю. Устинов, <sup>2</sup>В.А. Бондаренко, <sup>2</sup>А.Н. Короткий, <sup>2</sup>А.М. Бритов

<sup>1</sup>Могилевский государственный университет продовольствия, г. Могилев

<sup>2</sup>Завод «Полимир» ОАО «Нафтан», г. Новополоцк

Углеродные волокна впервые были получены в 1880 г. В 20-ом веке основной спрос на углеродные волокна был связан с военной промышленностью. К началу 21 века по мере снижения цен на данный продукт, были освоены новые области применения углеродных волокон, в связи с чем спрос на них стал резко увеличиваться. Углеродные волокна фактически революционизировали технологию композиционных материалов различного назначения, в том числе и в строительстве. В настоящее время производство углеродных волокон в мире непрерывно растет, что связано, прежде всего, с расширением областей и масштабов применения данного материала.

Основными сферами применения углеродных волокон являются: автомобилестроение, судостроение, самолетостроение, ракетостроение, роботостроение, энергетика, производство оборудования для обогащения сырья, содержащего редкоземельные и радиоактивные элементы, создание экзоскелетов, беспилотной техники, производство спортивного инвентаря и др.

В строительстве углеродные волокна являются сравнительно новыми материалами, тем не менее, их достоинства уже оценили и активно используют. Например, материалы и изделия, изготовленные с использованием углеродных волокон, по ряду эксплуатационных свойств превосходят традиционные «аналоги», выполненные из стали и бетона, так как в пересчете на ту же массу они в несколько раз прочнее. Так, использование сетки из углеродного волокна вместо стальной арматуры уменьшает вес стеновых панелей на 75%. А наружное армирование железобетонных, деревянных и кирпичных конструкций углеродными материалами увеличивает прочность конструкций более чем в два раза. Более того, использование углепластиковой арматуры позволяет, в ряде случаев, снизить общие расходы на строительство и последующую эксплуатацию сооружений за счет повышения устойчивости конструкций к коррозии и их долговечности и т.д. [1].

В промышленных масштабах углеродные волокна производят из различных видов прекурсоров, но главным образом: на основе полиакрилонитрильного волокна; на основе вискозного волокна; на основе пекового волокна [2].

В Республике Беларусь налажено производство углеродных волокон из вискозных волокон, однако, ввиду особенностей структуры исходного полимерного субстрата, получаемые углеродные волокна по ряду физико-механических свойств существенно уступают углеродным волокнам, получаемым из полиакрилонитрильных волокон. Поэтому в мировой практике основным сырьем, применяемым при производстве высокопрочных и высокомодульных углеродных волокон, являются волокнистые полиакрилонитрильные прекурсоры.

В Республике Беларусь полиакрилонитрильное волокно текстильного ассортимента под торговым названием «Нитрон Д» по ТУ ВУ 300041455.015 производится на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан» (г. Новополоцк) по мокрому методу из прядильных растворов на основе поли[акрилонитрил(АН)–со–метилакрилат(МА)–со–2-акриламид-2-метилпропансульфонат натрия (АМПС)] в диметилформамиде (ДМФ). Однако к полиакрилонитрильным волокнам, используемым для получения углеродных волокон, предъявляется ряд специфических свойств. Организация выпуска на данном предприятии полиакрилонитрильных волокон, пригодных к использованию в качестве прекурсоров углеродных волокон, требует существенного изменения параметров технологического процесса.

Проведенные на кафедре химической технологии высокомолекулярных соединений с использованием стендового оборудования лабораторные исследования, а также производственная апробация в условиях завода «Полимир» ОАО «Нафтан» предложенных технологических решений показали, что на существующей технологической линии возможна реализация ряда технологических режимов, позволяющих получать полиакрилонитрильное волокно, пригодное для переработки в углеродное. В то же время, полная реализация всех необходимых технологических режимов для промышленного выпуска полиакрилонитрильных прекурсоров углеродных волокон на существующем оборудовании нецелесообразна, так как требует серьезной модернизации существующего и установки дополнительного оборудования.

Существуют и другие причины, не позволяющие добиться получения высококачественного углеродного волокна на основе полиакрилонитрильных волокон, получаемых по ТУ ВУ 300041455.015. Так, недостатком реализованного на заводе «Полимир» технологического процесса является получение недостаточно однородного по морфоло-

гии волокна. Данная неоднородность, приемлемая для текстильного ассортимента полиакрилонитрильного волокна, отрицательно сказывается на свойствах готовых углеродных волокон.

Важнейшими технологическими факторами, существенно сказывающимися на структурной однородности волокна, являются особенности взаимодействия в системе «полимер – растворитель – осадитель», определяющими процессы структурообразования в формирующемся волокне. Известно множество реализованных на практике различных технологических вариаций по составу волокнообразующих сополимеров акрилонитрила, используемых для получения прекурсоров углеродных волокон, и по применяемым растворителям. Наиболее часто из растворителей используют в последнее время диметилформамид (ДМФ), диметилацетамид и диметилсульфоксид (ДМСО).

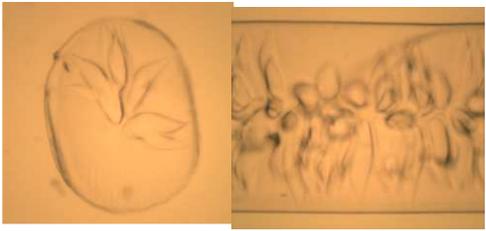
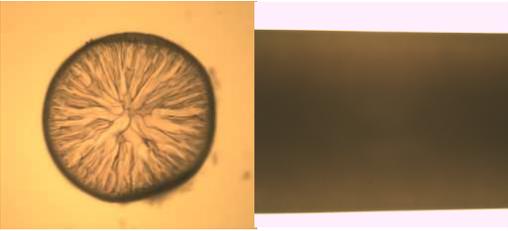
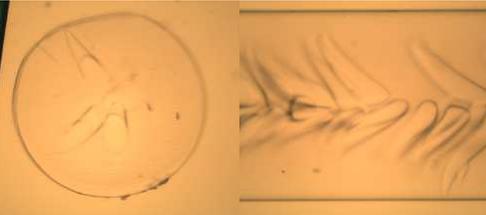
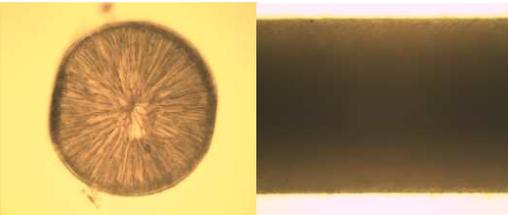
К сожалению, никакой конкретной практической информации о технологических режимах получения полиакрилонитрильных прекурсоров, предназначенных для переработки в углеродные волокна, а также информации для сопоставления этих режимов и качества получаемого при этом углеродного волокна, из опубликованных источников извлечь нельзя. Это связано с коммерческой тайной и серьезной конкуренцией в области производства и развития технологий получения высокопрочных углеродных волокнистых материалов.

Исходя из анализа собственного практического опыта, а также имеющихся мировых тенденций и существующей общетеоретической информации, с целью получения данных, необходимых для понимания механизма и управления процессом формирования морфологии полиакрилонитрильных волокнистых прекурсоров, были выбраны объекты исследования, поставлена систематическая серия лабораторных и производственных экспериментов и получены необходимые для дальнейшей работы данные.

В качестве примера, иллюстрирующего влияние на морфологическую однородность полиакрилонитрильного волокна физико-химической природы апротонного растворителя и минимальных изменений первичной структуры волокнообразующих сополимеров акрилонитрила, можно привести микрофотографии, представленные в таблице.

В таблице сопоставлены особенности морфологической структуры волокон, полученных по мокрому методу из прядильных растворов на основе волокнообразующих поли[АН-со-МА-со-АМПС] и поли[АН-со-МА-со-моноитаконат натрия (ИтК)] и апротонных растворителей: ДМФ и ДМСО.

**Таблица – Влияние мономерного состава сополимера и применяемого растворителя на структуру волокна**

Растворитель	Состав сополимера	
	Поли[АН-со-МА-со-ИтК]	Поли[АН-со-МА-со-АМПС]
ДМФ		
ДМСО		

Анализируя влияние растворителя и состава сополимерана структуру формирующегося в осадительной ванне моноволокна (см. таблицу) можно отметить следующее:

- при формировании волокна из прядильных растворов поли[АН-со-МА-со-ИтК] образуется более однородная структура и моноволокно имеет наименьшее количество видимых пор;

- при формировании волокна из диметилсульфоксидных прядильных растворов у волокон формируется меньшее количество пор и менее отчетливо выраженная оболочка.

Таким образом, исходя из полученной экспериментальной информации, можно предположить, что для реализации процесса получения полиакрилонитрильных волокнистых прекурсоров углеродных волокон в качестве растворителя более целесообразно использовать диметилсульфоксид, а в качестве волокнообразующего сополимера – поли[АН-со-МА-со-ИтК]. При этом замена растворителя и замена кислотного сомономера, используемых в существующем технологическом процессе, потребуют, как минимум, пересмотра технологических режимов стадий регенерации растворителя, синтеза и формирования волокна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Углеродные материалы. Свойства, технологии, применения: учебное пособие / С. Н. Колокольцев. – Долгопрудный: Интеллект, 2012. – 295 с.

2. Карбонизация полимеров / Ю. Н. Сазанов, А. В. Грибанов. – СПб.: Научные основы и технологии, 2013. – 295 с.

УДК 614.841.1

**КОНТРОЛЬ ТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ  
ПРИ ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ  
ШТУКАТУРНЫХ И ШПАТЛЕВОЧНЫХ СМЕСЕЙ**

С.Л. Лейнова, Г.А. Соколик, С.Ф. Свирщевский, С.Я. Рубинчик  
Белорусский государственный университет, г. Минск

Материалы, применяемые при строительстве, ремонте, отделке зданий и сооружений, должны обеспечивать долговечность, надежность, соответствовать требуемым эксплуатационным, функциональным характеристикам и удовлетворять необходимым требованиям безопасности, предъявляемым к объекту. К числу показателей безопасности относится и контроль токсичности продуктов горения, отражающей опасность газов, выделяющихся при возгорании применяемых материалов.

Особое внимание к данному параметру обусловлено тем, что основной причиной гибели людей на пожарах (до 70 % случаев), является отравление образующимися при возгорании материалов, содержащих полимерные органические компоненты, токсичными газообразными продуктами.

Контроль токсичности продуктов горения штукатурных и шпатлевочных смесей предусмотрен различными стандартами [1–3].

В состав штукатурок и шпатлевок в обязательном порядке входят вяжущие, наполнители и модифицирующие добавки. При изготовлении этих материалов используют цемент, гипс и различные органические вещества. Многообразные модифицирующие добавки применяют для ускорения или замедления процессов затвердения, повышения или понижения устойчивости смесей к воздействию воды или воздуха, увеличения устойчивости к грибкам, придания окраски, а также улучшения каких-либо других характеристик, которыми должна обладать данная продукция. Наличие органических компонентов в штукатурных и шпатлевочных смесях является причиной образования токсичных газов в случае их возгорания.

Биологический метод, в соответствии с которым определяется токсичность продуктов горения на территории Республики Беларусь (а также России, Украины, Казахстана и некоторых других стран) длительный (около 3-х недель) и требует использования значительного количества подопытных животных (около 70 на одно испытание).

При определении показателя токсичности продуктов горения ( $HC1_{50}$ ) биологическим методом суммарный токсический эффект про-

дуктов горения оценивается по результату их непосредственного воздействия на животных[1].

Необходимость массового расходования подопытных животных и длительные сроки проведения эксперимента не всегда позволяют оперативно получить информацию о пожарной безопасности материалов, что сдерживает их поступление как на внутренний, так и на внешний рынки, а также замедляют процессы отработки рецептуры и технологию их изготовления. В связи с этим, в различных странах для практического использования разрабатывается метод оценки токсичности продуктов горения по составу газовой смеси.

При определении  $HC1_{50}$  по составу газовой смеси (расчетно-экспериментальный метод) оценка показателя токсичности проводится по расчетным моделям, которые учитывают фракционную эффективную дозу (FED), отражающую взаимосвязь между смертностью животных и содержанием в газовой фазе основных компонентов. Методология метода изложена в международном стандарте [4].

В БГУ были разработаны расчетно-экспериментальные методы определения токсичности продуктов горения, предназначенные для групп материалов, изготовленных на различной основе: целлюлозы, поликарбоната, полиэтилена, полистирола, полипропилена, поливинилацетата, полиуретана, полиамида, полиамидных и эпоксидных смол (1-я группа материалов); поливинилхлорида (2-я и 3-я группы); гипсокартона, гипсоволокна, минеральной ваты и минерального волокна (4-я группа). Эти методы и расчетные модели, на основе которых они разработаны, описаны в работе [5].

Экспериментальные данные, полученные при исследовании состава и токсичности продуктов горения, образующихся при термическом разложении штукатурок (материалы групп 5 и 6) и шпатлевок (материалы групп 7 и 8), были использованы для разработки моделей, отражающих взаимосвязь между смертностью животных и содержанием в газовой фазе основных токсичных и биологически активных компонентов.

В расчетных моделях, предназначенных для оценки токсичности минеральных штукатурок и шпатлевок, при оценке FED необходимым и достаточным является учет содержания в образующейся газовой смеси  $CO$ ,  $CO_2$  и  $O_2$ . В моделях, предназначенных для полимер-минеральных и полимерных штукатурок и шпатлевок –  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ , акролеина и формальдегида. Для всех видов штукатурок и шпатлевок требуется также учитывать зависимость изменения токсичности  $CO$  от содержания в газовой смеси  $CO_2$ .

На основе моделей разработаны расчетно-экспериментальные методы оценки токсичности продуктов горения штукатурных и шпатлевочных смесей: минеральных (5-я и 7-я группы), полимерминеральных и полимерных (6-я и 8-я группы).

При исследовании токсичности продуктов горения полимерминеральных и полимерных штукатурок и шпатлевок отсутствует необходимость определять состав остальных газов, которые рекомендуется контролировать в соответствии с [4]: HCN, SO<sub>2</sub>, HCl, HBr, HF, а минеральных штукатурок и шпатлевок – также акролеина и формальдегида.

Неоспоримым преимуществом этих методов являются отказ от массового использования подопытных животных и малые сроки проведения испытаний (около 3-х дней).

Апробация методов была проведена для 149 штукатурок (36 минеральных; 40 полимерминеральных; 73 полимерных) и для 138 шпатлевок (11 минеральных; 66 полимерминеральных; 61 полимерных).

Сопоставление результатов исследования показывает, что доля совпадений значений групп токсичности продуктов горения, установленных с использованием разработанных методов, с результатами исследования, полученными биологическим методом, составляет 100%.

Сравнительный анализ экспериментальных данных, полученных при исследовании штукатурок и шпатлевок, показал, что токсичность продуктов горения, доля летучих веществ и содержание зарегистрированных основных токсичных газов в продуктах горения тем выше, чем больше в анализируемом материале доля полимерных добавок. Таким образом, токсическая опасность продуктов термического разложения исследованных штукатурных и шпатлевочных смесей увеличивается в ряду «минеральная – полимерминеральная – полимерная».

Установлено, что по полученным значениям показателей токсичности продуктов горения все исследованные минеральные и полимерминеральные штукатурки и большинство полимерных штукатурок (97 %) относятся к малоопасным веществам – группа токсичности Т1 (3 % к умеренноопасным – Т2). Все исследованные минеральные, полимерминеральные и полимерные шпатлевки также относятся к малоопасным веществам – группа токсичности Т1. Среди всех видов материалов не было обнаружено высокоопасных (группа токсичности Т3) и чрезвычайно опасных (группа токсичности Т4) образцов.

При использовании разработанных методов трудозатраты при определении показателя токсичности продуктов горения по составу газовой смеси будут существенно меньше не только по сравнению с

биологическим методом, но и меньше, чем при использовании моделей, предложенных в методах, разработанных ранее [5]. Это, в первую очередь, связано с сокращением количества используемых химико-аналитических методик, необходимых для определения токсичных газов, времени проведения эксперимента и обработки полученных результатов.

Для сбора, хранения и обработки информации о составе и токсичности продуктов горения исследованных материалов была создана База данных «Токсичность продуктов горения. Защитно-отделочные строительные композиции» (регистрационное свидетельство № 1311607939 от 02.06.2016).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Здания, строительные конструкции, материалы и изделия. Правила пожарно-технической классификации: ТКП 45-2.02-142-2011. – Введ. 01.01.12. – Минск: М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2011. – 25 с.

2. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84). – Введ. 01.01.91. – Переиздание ноябрь 2011г. с Изменением № 1, утвержденным в июле 2000 г. – 104 с.

3. Композиции защитно-отделочные строительные. Технические условия: СТБ 1263-2001. – Введ.01.01.2002. – 2001. – 34 с.

4. Определение летальной токсической потенциальной опасности продуктов горения: ISO 13344:2015. – Введ.15.12.15. – ISO/TC 92/SC 3 Опасность пожара для людей и окружающей среды, 2015. – 20 с.

5. Соколик, Г.А. Токсичность продуктов горения полимерных материалов и методы ее оценки / Г.А. Соколик [и др.] // Сб. мат. X Межд. науч.-практ. конф. «Пожарная и аварийная безопасность», посвященная 25-летию МЧС России, 26–27 ноября 2015 г., – г. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 257–260.

УДК 666.295

## ПОЛУФРИТТОВАННЫЕ БИОЦИДНЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА

И.А. Левицкий, А.Н. Шиманская, А.Д. Прыбыльский  
Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

В последнее время большое внимание уделяется разработке строительных материалов, обладающих антибактериальными свойствами, в связи с недостаточной эффективностью известных решений по борьбе с размножением болезнетворных бактерий, а также необходимостью снижения стоимости получения бактерицидных материалов.

В связи с этим целью работы является разработка составов и установление особенностей структуро- и фазообразования в процессе синтеза бесциркониевых износостойких глазурных покрытий керамических плиток для полов, обладающих требуемыми физико-химическими свойствами и декоративно-эстетическими характеристиками, в том числе антибактериальной активностью.

В настоящем исследовании при синтезе глазурных покрытий в качестве глушителей использовались  $TiO_2$  и  $ZnO$ . Как известно, диоксид титана способен не только изменять состав и концентрацию основных кристаллических фаз, воздействуя на температурный интервал образования и структуру продуктов кристаллизации, но и принимать активное участие в фазовых превращениях, выделяясь из стекла в виде кристаллических соединений – рутила, титанатов кальция и магния. Оксид цинка обеспечивает достаточное глушение и белизну покрытий, высокие показатели эксплуатационных свойств, а также способствует увеличению микротвердости и износостойкости покрытий за счет образования кристаллических фаз ганита и виллемита.

Для приготовления глазурной суспензии использовались следующие сырьевые материалы, мас. %: полевой шпат – 16,0–24,0; цинковые белила – 1,0–9,0; диоксид титана – 6,0–12,0 при постоянном содержании каолина, глинозема, доломита, волластонита, огнеупорной глины, кварцевого песка и фритты ОР [1], общее количество которых составляло 65,0 %. В качестве электролита в состав глазурной суспензии вводился триполифосфат натрия.

Глазурный шликер готовился совместным мокрым помолом компонентов шихты в шаровой мельнице (Speedy, Италия) до остатка на сите № 0056 в количестве 0,1–0,3 % при соотношении материал : мелющие тела : вода, составляющим 1:1,5:0,5. Полученная суспензия влажностью  $(50 \pm 1)$  % наносилась на высушенный до влажности не более 0,5 % и покрытый ангобом полуфабрикат керамических плиток.

Заглазурованные опытными составами образцы подвергались обжигу в печи FMS-2500 при температуре  $(1200 \pm 5)$  °С в течение  $(50 \pm 2)$  мин в ОАО «Керамин» (г. Минск, Республика Беларусь). Скорость подъема температуры, продолжительность выдержки при максимальной температуре, а также общее время обжига отвечали производственным параметрам.

После синтеза образцов глазурных покрытий проводилась оценка соответствия их физико-химических свойств требованиям нормативно-технической документации.

Визуальная оценка покрытий показала, что синтезированные полуфриттованные глазури характеризуются достаточно высокой степенью глушения, шелковисто-матовой фактурой поверхности, обеспечивающей противоскользящие свойства.

Для определения белизны и блеска глазурованных изделий применялся прибор ФБ-2 (Россия). В качестве эталона для определения блеска покрытия использовалась пластинка из увиолевого стекла, блеск которой равен 65 %. Для измерения белизны глазури в качестве эталона применялась баритовая пластинка со значением белизны 99,6 %. Исследованиями установлено, что блеск синтезированных глазурных покрытий составляет 13–73 %. Показатели белизны покрытий находятся на достаточно высоком уровне – 79–87 %, что указывает на образование фаз с повышенными значениями коэффициента преломления (относительно среднего показателя преломления стекла 1,48–1,58).

Микротвердость глазурных покрытий измерялась на приборе Wolpert Wilson Instruments (Германия) с автоматической обработкой данных. Высокие значения микротвердости образцов глазурей (5930–6550 МПа) и твердости по шкале Мооса (6,0) свидетельствуют о формировании покрытий с высокой устойчивостью к истиранию.

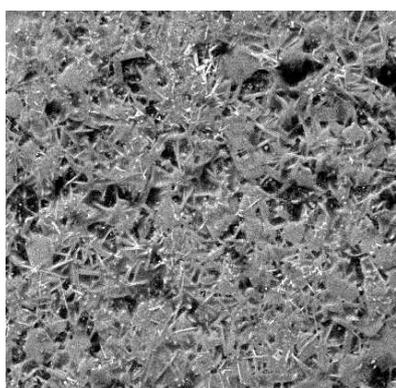
Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных глазурей измерялся на электронном дилатометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–300 °С. Согласованность в системе «глазурь – ангоб – керамический черепок», которая достигается благодаря близости значений ТКЛР синтезированных глазурей  $((56,0–69,1) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1})$  и керамической основы  $((70,0–75,0) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1})$ , позволила получить бездефектные изделия с термической стойкостью, составляющей 200 °С.

Поверхность абсолютно всех покрытий не имела каких-либо признаков изменения после воздействия раствора № 3 в течение 6 ч (ГОСТ 27180–2001), это позволяет заключить, что структура глазурей представлена химически устойчивыми кристаллическими фазами и

стекловидной составляющей.

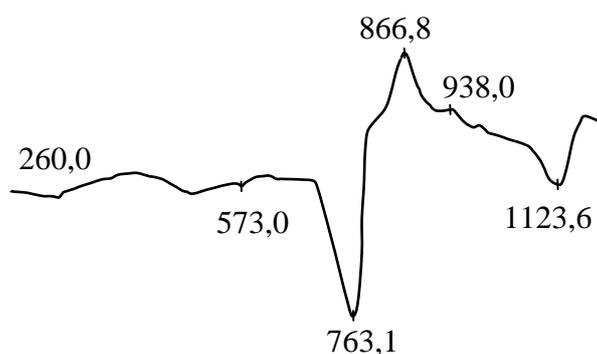
Степень износостойкости покрытия оптимального состава составляет 3–4 (ГОСТ 27180–2001), что позволяет использовать керамическую плитку с данным покрытием во всех помещениях квартиры или дома, а также небольшого офиса.

Изучение микроструктуры покрытий проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения MIRA3 с рентгеноспектральным микроанализатором EDX X-Max и приставкой фазового анализа EBSD HKL (Tescan, Чехия). Исследование поверхности глазури методом полуколичественного микрорентгеноспектрального анализа подтвердило, что покрытие состоит из сросшихся хаотично направленных таблитчатых кристаллов анортита размером 10–50 мкм, между которыми встречаются прослойки стекловидной фазы, игольчатые кристаллы рутила – 10–30 мкм и октаэдрические новообразования ганита – менее 5 мкм (рисунок 1).



50 мкм

**Рисунок 1 – Электронно-микроскопический снимок глазурного покрытия оптимального состава (× 500)**



Температура приведена в °С

**Рисунок 2 – Кривая ДСК глазурной шихты оптимального состава**

Кроме того, в зависимости от состава в покрытиях идентифицируются следующие кристаллические фазы: корунд ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ), титанат магния ( $2\text{MgO}\cdot\text{TiO}_2$ ) и перовскит или титанат кальция ( $\text{CaO}\cdot\text{TiO}_2$ ).

На рисунке 2 приведена кривая ДСК глазурной композиции оптимального состава. Слабый эндоэффект при  $260^\circ\text{C}$  обусловлен удалением химически связанной воды, содержащейся в глинистых минералах. Эндотермический эффект с минимумом при  $573,0^\circ\text{C}$  связан с модификационным переходом кварца. ДСК показала наличие эндоэффекта с минимумами при  $763,1$  и  $938,0^\circ\text{C}$  которые, по нашему мнению, характеризуют процесс диссоциации карбонатов магния и каль-

ция, входящих в состав доломита, соответственно. Экзоэффект при 866,8 °С связан с образованием анортита. Анализ также показал наличие эндотермического эффекта в интервале температур 950–1130 °С, который связан с плавлением составляющих шихты.

При введении в состав глазурной композиции оптимального состава антибактериальной добавки на основе фосфатов и соединений серебра получено покрытие, обладающее высокой антибактериальной активностью в отношении штаммов *Escherichia coli* ATCC 8739 (*E. coli*) и *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 (*S. aureus*) (таблица 1, 2). Исследование антибактериальной активности осуществлялось сотрудниками РУП «Научно-практический центр гигиены» (г. Минск, Республика Беларусь).

**Таблица 1 – Оценка антибактериальной активности образцов глазурованных плиток для полов в соответствии с Инструкцией 2.1.2.10-12-38-2006**

Тест-штамм	Контрольный образец, КОЕ/мл				Опытный образец, КОЕ/мл			
	0	6 ч	12 ч	24 ч	0	6 ч	12 ч	24 ч
<i>E. coli</i>	$3,0 \cdot 10^4$	$9,0 \cdot 10^3$	$6,2 \cdot 10^3$	$3,2 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^3$	$4,4 \cdot 10^2$	$9,6 \cdot 10^1$
<i>S. aureus</i>	$3,7 \cdot 10^4$	$7,3 \cdot 10^3$	$4,6 \cdot 10^3$	$2,3 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^2$	$8,5 \cdot 10^1$

**Таблица 2 – Оценка антибактериальной активности образцов глазурованных плиток для полов в соответствии с ИСО 22196:2011**

Тест-штамм	Контрольный образец, lgКОЕ/мл		Опытный образец	Антибактериальная активность	Достоверность результатов
	0	24 ч	24 ч		
<i>E. coli</i>	4,47 <sup>1)</sup>	3,50	1,90	1,60	0,026
<i>S. aureus</i>	4,55	3,37	1,66	1,70	0,025

Примечание: 1) Количество микроорганизмов представлено как среднее арифметическое по результатам трех повторностей в lgКОЕ/мл

Таким образом, применение плиток для полов, декорированных разработанными составами глазурных композиций, увеличит срок эксплуатации плиток для полов за счет повышения их износостойкости, а также обеспечит надежную антибактериальную защиту.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Фриттованная составляющая глушеной глазури: пат. ВУ 15539 / И.А. Левицкий, С.Е. Баранцева, А.И. Позняк, Н.В. Шульгович. – Оpubл. 28.02.2012.

УДК 666.616; 552.11

**БАЗАЛЬТОВЫЕ ПОРОДЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ –  
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ВИД МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ  
СИЛИКАТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

О.Ф. Кузьменкова<sup>1</sup>, С.Е. Баранцева<sup>2</sup>, А.И. Позняк<sup>2</sup>, Г.Д. Стрельцова<sup>1</sup>,  
О.А. Сергиевич<sup>2</sup>, С.С. Манкевич<sup>1</sup>, А.В. Поспелов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Филиал «Институт геологии» ГП «НПЦ по геологии», г. Минск

<sup>2</sup> Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

В настоящее время для Республики Беларусь актуальным является вовлечение в производство отечественных сырьевых ресурсов взамен импортируемых, более полное использование сырья осваиваемых месторождений и разработка безотходных технологий, связанных с добычей полезных ископаемых.

По результатам выполненных Государственным предприятием «НПЦ по геологии» научно-исследовательских работ были выделены три перспективные площади – Ивановская, Пограничная и Пинская на выявление месторождений базальтов[1]. Наименьшая глубина залегания кровли базальтовых покровов, составляющая (49,0–65,0)м при достаточной степени изученности буровыми (13 скважин) и геофизическими работами определили Пинскую перспективную площадь как первоочередной объект для постановки поисковых и поисково-оценочных работ на базальты и базальтовые туфы и выявления направлений их использования.

Основными критериями оценки сырья для производства минерального волокна и силикатных материалов, в частности стекол, петроситаллов, каменного литья, керамических материалов и пористых заполнителей, являются минералогический и химический состав, температура плавления, температурная зависимость вязкости и кристаллизационная способность расплава и стекла, температурный интервал выработки стекол, способность кристаллизоваться в процессе термической обработки. Следует отметить, что при получении определенных видов силикатных материалов избирательно прогнозируются составы сырьевых композиций[2].

Цель работы – изучить технологические свойства базальтов и базальтовых туфов вендской трапповой формации Пинского участка на предмет возможности их применения в качестве сырья для производства базальтового волокна, стекол, стеклокристаллических и теплоизоляционных материалов. К продукции, производимой из непрерывного волокна, относятся: ровинги для производства профильных стеклопластиков – прутков  $d$  4,0–6,0 мм, профилей различной конфигурации,

базальтопластиковой арматуры, труб и емкостей (методом намотки), подложек мягких кровель, кровельных и облицовочных материалов; геотекстильные армирующие материалы для дорожных покрытий; иглопробивные материалы для теплозвукоизоляции, а также базальтовое стекломикрорекристаллическое волокно с повышенными эксплуатационными свойствами и отсутствием высокотемпературной усадки.

Нами исследовались базальтовые породы Новодворского месторождения Пинского участка, типы, средний химический и минеральный состав которых приведен в таблицах 1 и 2.

**Таблица 1 – Средний химический состав исследуемых пород**

Индекс	Тип породы	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ	MgO	MnO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O	ППП
1Б	Базальт толеитовый свежего облика	47,54 – 52,76	12,79 – 14,69	1,87– 2,71	13,6– 15,97	3,48– 6,78	0,12– 0,24	3,92– 7,34	0,42– 0,51	2,54– 4,35	1,73– 5,61
2Б	Базальт толеитовый, лавобрекчия с содержанием хлорита до 15–30%)	39,1– 49,07	10,6– 12,70	1,87– 2,71	12,6– 18,69	2,27– 10,9	0,05– 0,23	1,66– 11,3	0,3– 0,58	1,80– 5,23	4,05– 13,87
3Б	Базальт толеитовый, долерит, лавобрекчия с содержанием холцедона до 10–20%	44,6– 55,16	11,3– 15,03	1,60– 2,55	12,3– 17,36	2,99– 10,8	0,06– 0,22	2,65– 7,10	0,3– 0,59	2,11– 4,62	2,60– 10,04
4Б	Долерит (хлоритизированный, миндалекаменный) и интрузивная брекчия долерита	39,8– 55,86	4,87– 13,04	1,05– 1,90	10,6– 15,86	5,23– 12,8	0,07– 0,32	1,41– 6,00	0,1– 0,28	1,99– 5,58	6,90– 16,67
5Б	Долерит свежего облика	46,57	12,83	1,46	14,45	8,81	0,19	8,27	0,27	8,54	5,97
6Б 7Б	Туф, туффитсапонитсодержащий (MgO>4,5%) (верхний 6Б и нижний 7Б)	39,0– 52,29	10,6– 13,86	0,91– 2,08	8,69– 18,93	4,63– 11,2	0,05– 0,29	1,02– 6,06	0,0– 0,40	1,76– 6,57	9,05– 20,46

Термическая обработка экспериментальных базальтовых пород выявила наиболее характерные изменения их агрегатного состояния при нагревании, в частности: 1070–1150 °С – уплотнение спека, образование незначительного количества стекловидной фазы (отмечается

для пород базальтов 1Б–3Б); 1150–1210 °С – начало плавления пород, сопровождающееся увеличением количества стекловидной фазы с ростом температуры; 1210–1300 °С – образование расплава.

Температура верхнего предела кристаллизации для составов 1Б, 2Б и 3Б – 1250±5 °С; 4Б и 5Б – 1270±5 °С; 6Б и 7Б – 1260±5 °С.

**Таблица 2– Минеральный состав представленных пород**

Минералы исследуемых пород	Индекс проб и содержание минерала, %						
	1Б	2Б	3Б	4Б	5Б	6Б	7Б
Плагиоклаз (андезин-лабрадор)	55–60	10–50	10–50	10–25	20–25	–	–
Моноклинный пироксен (авгит, в меньшей степени пижонит)	25–30	–	0–30	0–30	30–40	0–10	0–10
Рудный (титаномагнетит, ильменит)	8–10	8–10	8–10	3–7	3–7	0–7	0–7
Моноклинный пироксен (хлоритизирован в разной степени)	–	0–20	–	–	–	–	–
Анальцит	0–1	–	–	–	0–1	–	–
Хлорофеит (водосодержащий литогель)	7–20	–	–	–	0–10	–	–
Вулканическое стекло	1–15	–	–	–	0–10	–	–
Пирит	<<1	<<1	<<1	<<1	–	–	–
Цеолиты (анальцит, клиноптилолит, морденит)	–	0–10	0–15	0–10	–	0–1	0–1
Хлорофеит (хлоритизированный и глинизированный)	–	0–30	0–20	0–20	–	–	–
Хлорит	–	10–35	0–15	10–30	–	0–5	0–5
Монтмориллонит	–	5–30	0–10	5–40	–	–	–
Гидрослюда	–	0–10	0–10	0–10	–	0–10	0–10
Гематит	–	0–7	0–7	0–10	–	0–10	0–10
Кальцит	–	0–5	0–5	0–10	–	0–3	0–3
Каолинит	–	0–1	0–1	0–1	–	0–5	0–5
Полевые шпаты (плагиоклаз, калиевые полевые шпаты)	–	–	–	–	–	0–25	0–25
Халцедон	–	–	5–20	–	–	–	–
Кварц	–	–	–	0–10	–	0–20	0–20
Биотит, мусковит	–	–	–	–	–	0–1	0–1
Псевдоморфозы индингсита-боулингита, хлорита по оливину	–	–	–	–	2–7	–	–
Монтмориллонит(сапонит)	–	–	–	–	–	0–40	0–40
Доломит	–	–	–	–	–	0–5	0–5

В соответствии сТУ ВУ 192018546.016–2017«Сырье из горных пород для производства волокна базальтового» определены расчетные показатели модуля кислотности и вязкости экспериментальных сте-

кол, приведенные в таблице 3. Определенный экспериментально краевой угол смачивания соответствует требованиям этого нормативного документа и составляет 7–12° при 1250 °С и 30–32° при 1350 °С.

**Таблица 3 – Химический состав (мол.%), модуль кислотности и расчетные показатели вязкости экспериментальных базальтовых стекол**

Индекс	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> об.	MgO	MnO	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	Mк	Вязкость, Па·с		
											1250	1300	1400
1Б	62,03	10,00	2,12	6,88	9,45	0,19	7,46	0,24	1,64	5,94	106,6	50,7	17,8
2Б	57,26	8,93	2,23	7,66	12,73	0,15	9,03	0,25	1,76	4,27	60,1	28,6	10,1
3Б	60,94	9,48	1,90	6,83	12,52	0,14	6,38	0,23	1,58	5,36	94,5	44,9	15,8
4Б	61,12	6,73	1,41	6,37	17,13	0,21	5,07	0,11	1,86	4,47	80,1	38,1	13,4
5Б	54,04	8,76	1,27	6,31	15,22	0,18	10,28	0,13	3,81	3,48	28,6	13,6	4,8
7Б	59,71	9,41	1,47	6,79	15,26	0,19	4,96	0,13	2,09	5,09	91,4	43,5	15,3

В результате изучения технологических свойств базальтовых пород и синтезированных на их основе опытных образцов стекол для минеральных волокон, архитектурно-художественного черного стекла, петроситалла по классической технологии, каменного литья путем кристаллизации горячих отливок и теплоизоляционного пористого заполнителя разработаны и экспериментально подтверждены рекомендации последующим возможным направлениям их использования:

- производство базальтового волокна;
- производство каменного литья, петроситаллов и стекол;
- использование в составах керамогранита путем частичной замены кварц-полевошпатовых материалов;
- получение на основе базальтов пористого заполнителя для легких бетонов и теплоизоляционных засыпок.

Результаты комплексных экспериментальных исследований базальтов Новодворского месторождения Пинского участка Брестской области показали, что по геолого-структурной позиции, вещественному составу и технологическим характеристикам они являются перспективным отечественным объектом для многоцелевого использования при получении широкого диапазона силикатных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменкова, О. Ф. Базальты Пинской поисковой площади: геология и перспективы использования/ О.Ф. Кузьменкова, В.П. Дашкевич, Г.Б. Качанко, Г.Д. Стрельцова, С.С. Манкевич // Сб. докл. Междунар. науч. конф. «Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья. – Минск, 2016. – Т.1. – С. 544–550.

2. Экспериментальная и техническая петрология / Е.Н. Граменицкий [и др.] – М.: Научный мир, 2000. – 416 с.

УДК: 674.8:691.11

## **ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТВЕРДЫХ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

С.П. Трофимов<sup>1</sup>, Н.М. Горбачев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

<sup>2</sup>ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск

Обеспечение взрывопожарной и экологической (охрана труда и воздействие на окружающую среду) безопасности процессов производства и использования измельченных растительных материалов требует соответствующего обоснования решений в организации: измельчения исходного сырья и материалов (например, древесных); сушки; складирования и перемещения; гранулирования, хранения и упаковки; сжигания в качестве топлива различных видов и фракций, включая пылевидную.

Твердые органические материалы используются в качестве сырья, топлива и часто относятся отходам производства. Разнообразное оборудование, которое используется в процессе их обработки, это различные станки, установки для шлифования, измельчения, системы аспирации, пневматического и механического транспорта, фильтры, экструдеры, сушилки, топки, и многое другое. Нормирование процессов обращения этих материалов необходимо для обеспечения взрывопожарной и экологической безопасности.

Обеспечение безопасности, а также энергоэффективности рассматриваемых процессов и продукции включает: наличие актуальной нормативно-технической базы, основанной на практическом опыте и результатах научных исследований; данных о взрывопожарной и экологической опасности материалов, например измельченной древесины (ИД), торфа и других, а также сведений о них на стадиях производства и использования в качестве биотоплива.

Риски негативных явлений и чрезвычайных происшествий должны быть снижены на основе: выполнения соответствующих НИР и ОКР (экспериментальные исследования, использование сертифицированных систем SFD компьютерного моделирования аэродинамики двухфазных потоков и явлений в дисперсных средах; актуализации нормативной базы в области безопасности и энергоэффективности; определения соответствующих требований к оборудованию, соблюдению правил техники безопасности и охраны труда.

К настоящему времени сложилось положение, когда мы не располагаем достаточными сведениями в области взрывопожарной и эко-

логической безопасности многих измельченных материалов используемых в производстве и в качестве биотоплива.

Появились новые материалы, оборудование, технологии и виды обработки твердых органических материалов с получением измельченных: например, в производствах различных плит, фанеры, шпал, изделий из древесины и элементов деревянного домостроения с присутствием в ИД смол, клея, минеральных связующих, антисептиков, антипиренов и других модифицирующих веществ в процессах механической обработки, измельчения отходов, утилизации материалов и изделий.

Сведения и показатели, имеющиеся в разнообразных действующих нормативно-технических документах (гигиенические нормы, постановления, стандарты, правила охраны труда и пожарной безопасности, санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы, правила эксплуатации газоочистных установок), справочниках и других источниках информации не отражают многих изменений в производстве, подчас устарели и противоречивы даже в терминологии и определениях. К примеру, мы еще пользуемся характеристиками измельченных материалов [1–3].

В тоже время технические комитеты по стандартизации и отраслевые профессиональные сообщества ЕС, США и других развитых стран планомерно разрабатывают и актуализируют нормативно-техническую базу, в качестве примера можно назвать: DINEN 12779:2004+A1:2009 (безопасность аспирации в деревообработке); Directive 94/9/EC Atex 95 (директива Европарламента по безопасности оборудования, используемого во взрывоопасных средах); BGI 739-2 (информационные материалы по взрывопожарной безопасности процессов с присутствием ИД) и многие другие.

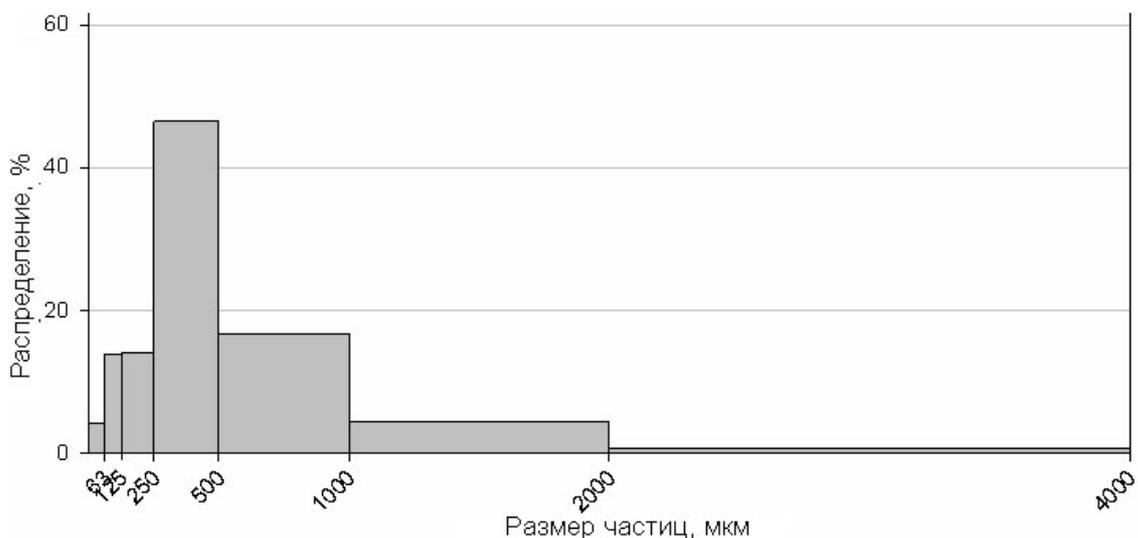
В зарубежных документах и публикациях по результатам исследований специалистов приводятся показатели экологической и взрывопожарной безопасности измельченных органических материалов: выделение вредных веществ в процессах сушки и термообработки ИД, торфа и других материалов; показатели горения пыли, скорость нарастания и избыточное давление создается в результате взрыва взрывоопасной смеси в корпусе, классификационные показатели торрефицированной древесной пыли и минимальная энергия ее воспламенения (MIE); верхний и нижний концентрационные пределы воспламенения веществ.

В 2014 г. по инициативе БГТУ во взаимодействии со специалистами производств и университетов (БНТУ, КИУ МЧС Республики Беларусь и СПбГЛТУ в России) был разработан и введен ТКП 510–

2014 [4], который устанавливает правила проектирования систем аспирации и пневмотранспорта в деревообработке, производствах древесных топливных гранул (пеллет) и брикетов. Этот документ в определенной мере касается вопросов безопасности указанных систем с ИД. К принятию решения о разработке ТКП 510-2014 подтолкнуло очередное трагическое происшествие на ЗАО «Пинскдрев» в производстве топливных пеллет.

В ТКП 510-2014 систематизированы и даны и приведены термины, связанные с учетом свойств ИД, со ссылками на действующие ТНПА: (если они были возможны), указаны области необходимого учета показателей ИД, правила принятия решений по обеспечению взрывопожарной, экологической безопасности и энергетической эффективности проектируемых систем [4].

Совместно с университетом естественных наук в Познани были проведены исследования фракционного состава некоторых видов древесной пыли с ЗАО «Пинскдрев» на предмет анализа процесса очистки воздуха в фильтрах системы аспирации, пример приведен на рисунке 1. Результаты работы были доложены на международной конференции SGGW в Польше [5].



**Рисунок 1 – Характеристики березовой древесной пыли фанерного производства (получены на лазерном дифрактометреAnalysette 22 MicroTecPlus)**

В настоящее время для модифицированных дисперсных материалов нет данных по их диэлектрической проницаемости и тангенсу угла потерь необходимые для технологического контроля и организации их микроволновой обработки и улавливания в электрофильтрах. Отсутствует достоверная информация по токсичности таких материалов, в том числе наноразмерных пылей использующихся в качестве

модифицирующих добавок. Обращение с такими материалами и определения способа утилизации должно производиться на основе нормативов учитывающих их физико-химические свойства, это относится и к утилизации твёрдых бытовых отходов путем их сжигания (так называемого топлива RDF).

ИТМО НАН Беларуси совместно с БГТУ рассматривают возможность сотрудничества в решении следующих задач: термический анализ ИД. Определении свойств взрывоопасности  $C_v$ ,  $K_{st}$  и выход летучих веществ.; определение теплоты сгорания, температуры воспламенения, сорбции и десорбции измельченных материалов; Определение углов откоса в статике и динамике, скорости витания и гранулометрического состава ИД; математическое моделирование аэродинамики двухфазных потоков, анализ, осевших слоев, динамических процессов и явлений с использованием программ CAE, SFD и вычислительных возможностей кластера суперкомпьютера; исследование дисперсных потоков на основе скоростной видеосъемки и компьютерного анализа быстро протекающих процессов с использованием технологии PIV; разработка отечественных и анализ зарубежных ТНПА.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Назаренко, Е.С. Пожарная безопасность деревообрабатывающих предприятий / Е.С. Назаренко, В.А. Казанцев. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 272 с.

2. Корольченко А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочник: В 2 ч. / А.Я. Корольченко, Д.Я. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч. 1. – 713 с., Ч. 2. – 774 с.

3. Лапкаев, А.Г. Создание безопасности и нормальных условий труда в процессах деревообработки по пылевому фактору / А.Г. Лапкаев. / автореферат диссертации на соискание степени д.т.н. – Красноярск: СГТУ, 2006. – 34 с.

4. ТКП 510–2014. Системы пневмотранспорта и аспирации в деревообрабатывающем производстве, включая производство древесных топливных гранул (пеллет) и древесных брикетов. Нормы проектирования. – Минск: «Беллесбумпром», 2014 – 78 с. – Трофимов С.П., Дячек П.И.

5. Rogozinski, T. Dust creation during birch plywood production / T. Rogozinski, S. Trofimov. – Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW. Forestry and Wood Technology. No 98, 2017. – p. 99–103.

УДК 677.494

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗА ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ  
СОПОЛИМЕРОВ АКРИЛОНИТРИЛА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
ПРЕКУРСОРОВ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

А.Г. Харитонович, Д.В. Ходыко, И.А. Матюш,  
Д.П. Черикаев, Л.А. Щербина

Могилевский государственный университет продовольствия, г. Могилев

Развитие строительного сектора требует создания производств соответствующего сырья и различных инновационных материалов, которые все больше используются в современном строительстве и начинают вносить свою лепту в формирование архитектуры будущего. Современная химическая технология путем теоретических и экспериментальных исследований участвует в разработке процессов получения различных видов строительных материалов, изделий и конструкций с улучшенными, по сравнению с ранее применявшимися аналогами, физико-механическими характеристиками. Весьма интересными и перспективными для строительства являются изделия, получаемые с использованием углеродных волокон (УВ) и углеродных волокнистых материалов (УВМ).

Углеродные волокна и материалы на их основе представляют альтернативу традиционным материалам, например, стали, алюминию, стеклопластику, текстолиту и другим. Они отличаются высокой прочностью, надежностью и меньшим весом. Эти качества очень важны при обустройстве внешнего армирования ответственных кирпичных, железобетонных и деревянных конструкций, мостовых сооружений и эстакад, и др. Это объясняет растущую популярность армирующих углеродных волокнистых материалов.

В Республике Беларусь налажено производство углеродных волокон и волокнистых материалов на основе целлюлозного сырья. Однако, в большинстве случаев по физико-механическим характеристикам они уступают углеродным материалам на основе полиакрилонитрильных (ПАН) волокнистых прекурсоров.

Производство ПАН волокон текстильного назначения реализовано в нашей стране на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан» в г.Новополоцке из поли[акрилонитрил (АН) – со – метилакрилат (МА) – со – 2-акриламид-2-метилпропансульфо кислота (АМПС)] с использованием диметилформаида в качестве растворителя. Использование таких волокон в качестве прекурсоров не позволяет достичь хороших физико-механических показателей углеродных волокон

и конструкционных материалов на их основе. Этому есть как минимум две причины. Первая причина связана с тем, что при синтезе полимеров на основе акрилонитрила в диметилформамиде, растворитель принимает активное участие в реакциях передачи кинетической цепи. Это существенно ограничивает возможности увеличения и регулирования молекулярной массы синтезируемого волокнообразующего сополимера. Вторая причина связана с тем, что на протекание процесса превращения прекурсора в волокно существенное влияние оказывает наличие карбоксилсодержащих мономеров в первичной структуре волокнообразующих полимеров, используемых для получения волокнистых прекурсоров УВ и УВМ.

По этим причинам, с целью получения волокнообразующего терсополимера (ВТП) для производства ПАН прекурсоров УВ, был рассмотрен процесс синтеза поли[АН – со – МА – со – итаконовая кислота (ИтК)] в диметилсульфоксиде (ДМСО). ДМСО в отличие от ДМФ не принимает активного участия в реакции передачи кинетической цепи, поэтому образующийся в нем полимер имеет более высокую молекулярную массу.

Синтез ВТП на основе АН изучался при варьировании содержания инициатора в РС. Изучение влияния данного фактора на динамику синтеза ВТП осуществлялось на стендовой установке, моделирующей работу промышленного реактора идеального смешения непрерывного типа. В качестве инициатора свободно-радикальной полимеризации использовался динитрил азоизомасляной кислоты (ДАК). Содержание кислотного сомономера – ИтК – в исходной реакционной смеси составляло 1 % (мас.) от массы мономеров. Содержание мономеров в исходной реакционной смеси составляло 35 % (мас.). Процесс проводился в общем для мономеров и образующегося полимера растворителе – ДМСО. В ходе синтеза проводился отбор проб, на основании анализа которых оценивалась зависимость степени превращения мономеров от времени пребывания реакционной смеси в реакторе.

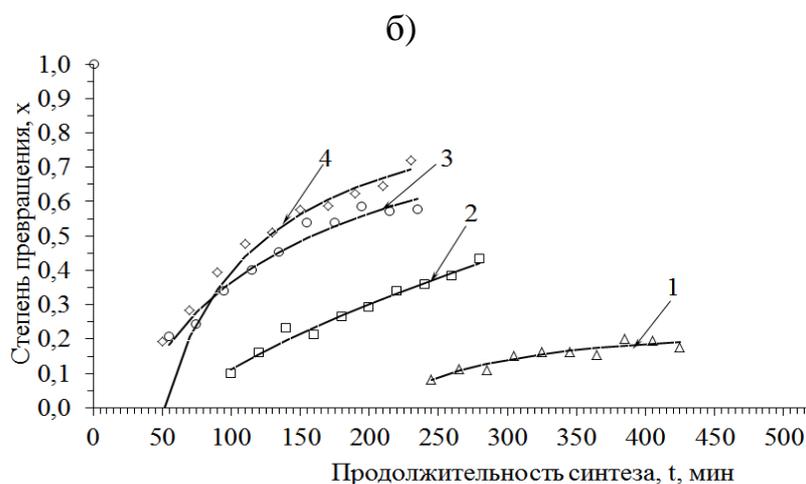
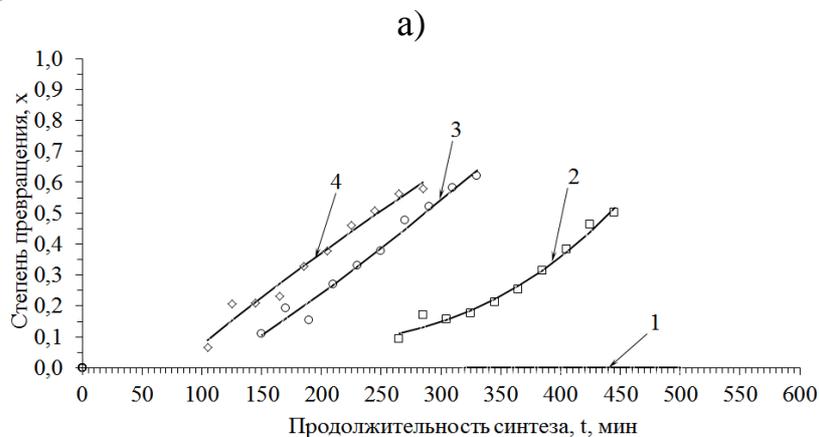
На рисунке представлены данные, характеризующие зависимость динамики синтеза поли[АН–со–МА–со–ИтК] от содержания инициатора при температурах ведения процесса 70 °С и 80 °С, соответственно.

Как и следовало ожидать, в присутствии малых количеств инициатора полимеризация в ДМСО протекает значительно медленнее, чем при большем его содержании, что согласуется с правилом «квадратного корня»:

$$v = k \cdot [M] \cdot \sqrt{[I]},$$

где  $v$  – скорость полимеризации;  $k$  – суммарная константа скорости

полимеризации;  $[M]$  – концентрация мономеров;  $[I]$  – концентрация инициатора.



Температура синтеза: а) 70 °С, б) 80 °С

Содержание ДАК в РС, % (масс.): 1 – 0,1; 2 – 0,25; 3 – 0,5; 4 – 0,75

**Рисунок – Зависимость динамики синтеза поли[АН–со–МА–со–ИтК] от содержания инициатора**

Обобщая полученные экспериментальные данные, можно прийти к следующим выводам:

– промышленный процесс синтеза ВТП на основе поли[АН–со–МА–со–ИтК] может быть осуществлен в апротонном растворителе – ДМСО;

– путем варьирования температуры и содержания инициатора в исходной реакционной смеси можно существенно влиять на кинетику брутто процесса образования ВТП на основе АН в ДМСО;

– на основе полученных экспериментальных данных могут быть получены кинетические параметры процесса синтеза ВТП в ДМСО, необходимые для управления данным процессом в промышленном оборудовании.

УДК 666.189.3

## **ПЕНОСТЕКОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

Н.К. Манакова<sup>1</sup>, О.В. Суворова<sup>1</sup>, Д.В. Макаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия

В современном промышленном и гражданском строительстве огромное значение приобретают строительные теплоизоляционные материалы, способные эффективно выполнять свои функции по сбережению энергетических ресурсов. В наибольшей степени всему комплексу предъявляемых требований по теплофизическим, противопожарным и эксплуатационным показателям удовлетворяет пеностекло – пористый тепло- и звукоизоляционный материал с истинной пористостью до 90–97%, состоящий из газообразной и твердой фаз. При производстве пеностекла повышенное внимание уделяется использованию вторичного сырья, прежде всего, отходов стекла. Перспективным направлением в производстве теплоизоляционных пеностекловых материалов в настоящее время является использование различных промышленных отходов.

Производство пеностекловых материалов в России не достаточно налажено, что связано, прежде всего, с недоработкой технологии, а также с более высокой себестоимостью пеностекла, по отношению к пенопластам и другим дешевым, но горючим утеплителям [1, 2].

На протяжении многих лет нами ведутся работы по вовлечению в переработку техногенных отходов с получением строительных теплоизоляционных материалов, отвечающих современным требованиям пожарной безопасности, а также характеризующихся физико-химическими свойствами, не уступающими, а в некоторых случаях и превосходящими характеристики таких материалов из традиционного сырья.

Из отходов обогащения апатит-нефелиновых руд и стеклоотходов по одностадийной порошковой технологии был разработан эффективный пеностеклокристаллический материал. Технические свойства полученного материала: плотность 200–410 кг/м<sup>3</sup>, теплопроводность 0,08–0,13 Вт/м·К, прочность до 1,9 МПа, водопоглощение до 3% [3].

В настоящее время повышенный интерес вызывают технологии пеносиликатных материалов – аналогов пеностекла. Для их получения

используются различные виды кремнеземсодержащего сырья как природного, так и техногенного происхождения.

Имеющийся опыт применен для физико-химического обоснования использования продукта кислотной переработки нефелина (аморфный кремнезем), отходов апатито-нефелиновых руд и золошлаковой смеси в получении гранулированных пеносиликатов гидротермальным способом. Техническая характеристика полученного зернистого материала: коэффициент теплопроводности 0,075–0,08 Вт/м·К, плотность 0,15–0,24 г/см<sup>3</sup>, прочность до 3 МПа, водопоглощение до 6% [4].

В работе [5] предложены способы получения эффективных блочных и гранулированных теплоизоляционных материалов на основе кремнеземсодержащих отходов и побочных продуктов переработки апатит-нефелиновых и эвдиалитовых руд Мурманской области по низкотемпературной технологии.

В продолжение этой работы проведены исследования по получению блочных пеносиликатов с улучшенными характеристиками на основе микрокремнезема, апатито-нефелиновых отходов и модифицирующих добавок, в качестве которых использовали диопсид и отходы обогащения вермикулитовых руд.

Исследовано влияние добавок на свойства теплоизоляционных материалов. Показано, что введение в состав шихты диопсида и хвостов обогащения вермикулитовых руд в сочетании с технологическими приемами существенно улучшают технические характеристики пеносиликатных материалов.

При оптимальных условиях получены пеносиликаты с плотностью 0,3–0,55 г/см<sup>3</sup>, довольно высокой прочностью до 5–6 МПа, теплопроводностью 0,09–0,107 Вт/м·К и относительно низким водопоглощением.

Полученные материалы удовлетворяют требованиям ГОСТ 16381-77 “Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Классификация и общие технические требования”.

Таким образом, в результате проведенных исследований на основе горнопромышленных отходов получены эффективные блочные и гранулированные пеноматериалы, которые можно рекомендовать для использования в качестве теплоизоляционных: при строительстве и реконструкции промышленных и гражданских зданий и сооружений (рисунок).



1



2



3

**Рисунок – Блочный (1,3) и гранулированный (2) пеностеклянный материал на основе апатито-нефелиновых отходов (1) и микрокремнезема (2, 3)**

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 17-43-510364 p\_a).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кетов А.А. Перспективы пеностекла в жилищном строительстве // Строительные материалы. 2016. №3. – С. 79–81.
2. Терещенко И.М., Дормешкин О.Б., Кравчук А.П., Жих Б.П. Состояние и перспективы развития производства стекловидных вспененных теплоизоляционных материалов // Стекло и керамика. 2017. – №6. – С. 29–32.
3. Пат. 2246457 РФ, МПК<sup>7</sup>С 03 С 11/00. Шихта для получения пеностеклянного облицовочного материала / Калинин В.Т., Макаров В.Н., Суворова О.В., Макаров Д.В., Кулькова Н.М.; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН.- № 2003118339/03; заявл. 17.06.2003; опубл.20.02.2005, Бюл. № 5.
4. Суворова О.В., Манакова Н.К., Макаров Д.В., Мелконян Р.Г. Стекломатериалы из техногенного сырья мурманской области и способы повышения их качества // Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития: материалы Международной науч-техн. конф. Минск, 27–29 ноября 2013. – Минск: БГТУ, 2013. – С. 11–13.
5. Суворова О.В., Манакова Н.К. Использование отходов и побочных продуктов переработки апатито-нефелиновых и эвдиалитовых руд для получения теплоизоляционных пеностеклокристаллических материалов // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20. – №1/2. – С. 189–196.

УДК 666.295

## МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫЕ БАЗАЛЬТСОДЕРЖАЩИЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ КЕРАМОГРАНИТА

И.А. Левицкий, А.Н. Шиманская, Е.А. Ерш

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Одним из перспективных направлений в области получения декоративных покрытий керамических плиток является разработка составов глазурей, обладающих эффектом металлизации. Для обеспечения данного эффекта преимущественно используются оксиды меди [1]. В настоящем исследовании изучалась возможность получения металлизированных покрытий керамических плиток для полов, отличающихся пониженным содержанием  $\text{CuO}$ . При этом для обеспечения требуемого декоративного эффекта кроме оксида меди (II) в состав глазури вводился базальт, который, как известно, может применяться в качестве природного окрашивающего компонента для получения цветных покрытий темно-коричневой цветовой гаммы [2].

Сырьевая композиция для получения полуфриттованных глазурей включала следующие компоненты, мас. %: базальт – 34,0–44,0; оксид меди – 8,0–14,0; алюмоборосиликатную фритту ОР [3] – 18,0–24,0; при постоянном содержании технического глинозема, каолина, огнеупорной глины и доломита, суммарное количество которых составляло 30,0 мас. %.

Шликер готовился совместным мокрым помолом компонентов шихты в шаровой мельнице (Speedy, Италия) до остатка на сите № 0056 в количестве 0,1–0,3 % при соотношении материал : мелющие тела : вода, составляющим 1:1,5:0,5. Полученная суспензия влажностью  $(50 \pm 1)$  % наносилась на высушенный до влажности не более 0,5 % полуфабрикат керамических плиток.

Покрытые опытными составами глазурей образцы керамогранита подвергались обжигу в печи FMS-2500 при температуре  $(1200 \pm 5)$  °С в течение  $(50 \pm 2)$  мин на ОАО «Керамин» (Минск, Республика Беларусь). Скорость подъема температуры, продолжительность выдержки при максимальной температуре, а также общее время обжига отвечали производственным параметрам.

Исследование включало определение цветовых характеристик (координаты цвета, доминирующая длина волны, чистота тона, светлота), выполненное на спектрофотометре фирмы Proscan модели МС–122 (Германия – Беларусь), цвета покрытий – по 1000–цветному атласу ВНИИ им. Д.И. Менделеева, блеска – на фотоэлектронном блескомере ФБ–2 (Россия) с использованием в качестве эталона увиолевого

стекла. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных ангобов измерялся на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–400 °С, микротвердость – на приборе Wolpert Wilson Instruments (Германия). Микроструктура глазурных покрытий исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM–5610 LV с системой химического анализа EDX JED–2201 JEOL (Япония). Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) осуществлялась на приборе DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsch (Германия).

Визуальная оценка показала, что в исследуемой системе сырьевых материалов формируются качественные покрытия серовато-черного цвета с металлизированным отливом.

Значения физико-химических свойств глазурных покрытий измерялись в соответствии с ГОСТ 27180-2001 и приведены в таблице 1.

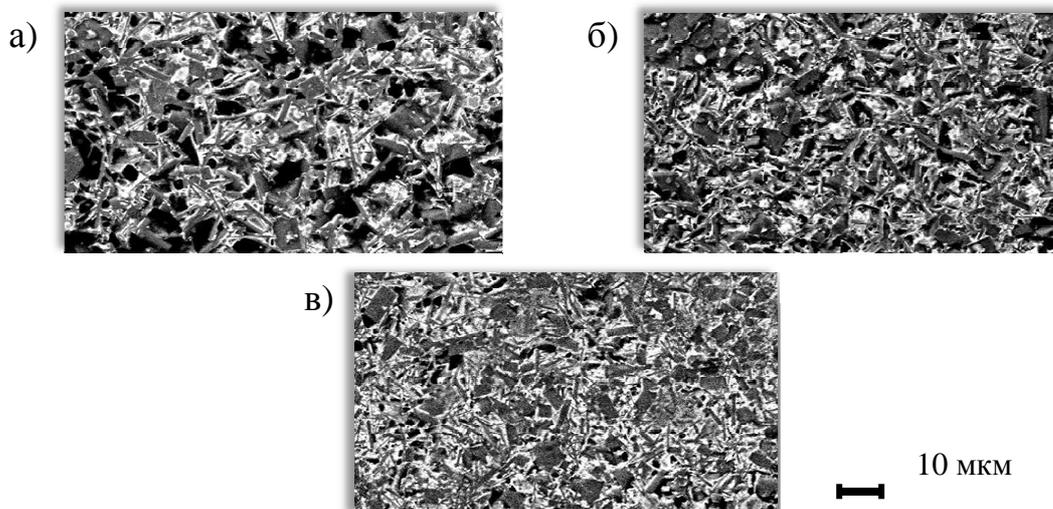
**Таблица 1 – Физико-химические свойства металлизированных глазурей**

Свойства	Показатели свойств покрытий
Блеск, %	34–43
Микротвердость, МПа	5550–7000
Твердость по шкале Мооса	5,5–6,5
ТКЛР, $\alpha \cdot 10^7, K^{-1}$	59,0–73,1
Термическая стойкость, °С	150
Химическая стойкость	химически стойкие
Степень износостойкости	1–2

При анализе зависимости физико-химических свойств от состава глазурной композиции установлено, что при увеличении количества оксида меди (II), отмечается повышение значений блеска и соответственно декоративности покрытий. Однако при этом наблюдается снижение износостойкости глазурей и повышение их ТКЛР, что негативно сказывается на качестве покрытий и продолжительности эксплуатации керамогранита. В связи с этим в качестве оптимальной выбрана глазурь, содержащая минимальное количество оксида меди (II) – 8 мас. %. Физико-химические свойства и декоративно-эстетические характеристики данного покрытия отвечают требованиям нормативно-технической документации.

Исследование микроструктуры синтезированных покрытий с помощью сканирующего электронного микроскопа показало, что глазури характеризуются равномерной кристаллической структурой (рисунок 1). На снимках отчетливо видны плотно прилегающие друг к другу кристаллы таблитчатой формы, состав которых близок к стехиометрическому составу анортита (таблица 2), а также игольчатые кристаллы, образующие отдельные радиально-лучистые агрегаты и

расположенные хаотично по поверхности глазури, которые принадлежат, очевидно, кристаллическим медьсодержащим образованиям: тенориту и куприту.



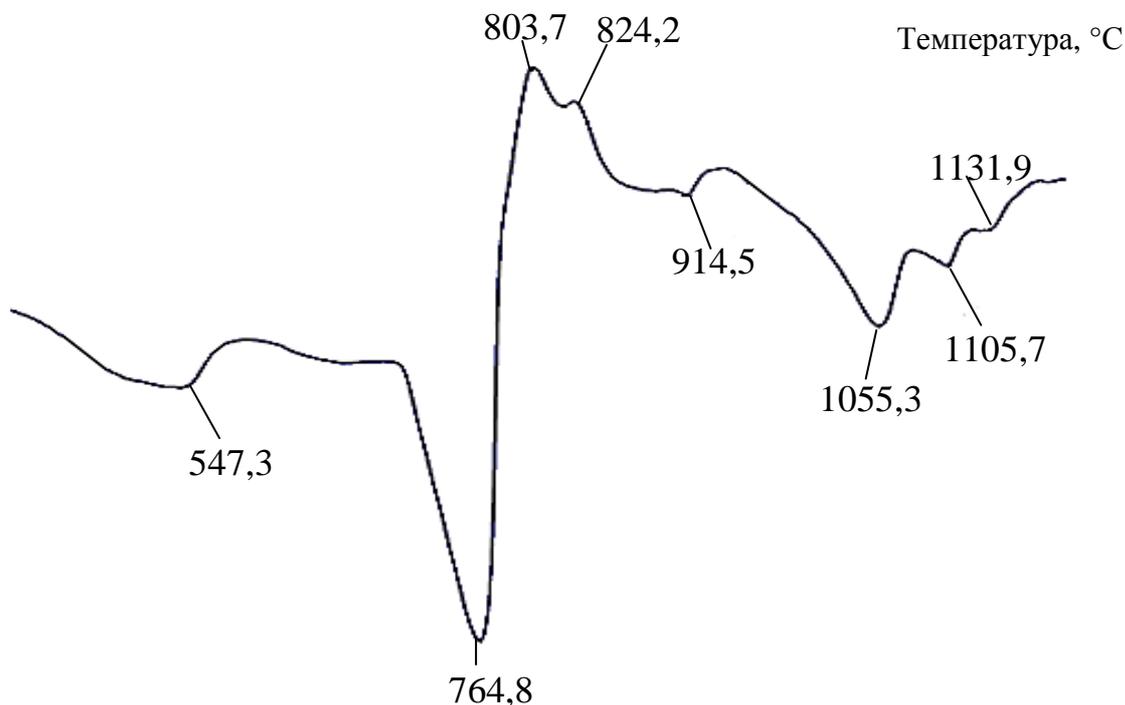
**Рисунок 1 – Электронно-микроскопические снимки глазурей ( $\times 1000$ ) при содержании  $\text{CuO}$ , мас. %: а) – 8; б) – 10; в) – 14**

**Таблица 2 – Химический состав локальных участков по результатам микроанализа**

Область анализа	Содержание оксидов, мас. %								
	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{FeO}$	$\text{CuO}$
Поверхность	41,76	21,60	0,98	0,20	3,55	9,48	0,89	6,21	15,33
Кристалл таблитчатой формы	47,71	28,84	1,56	0,53	0,93	12,17	0,55	2,26	5,46

Так, на кривых ДСК шихтовых композиций (рисунок 2) отмечаются эндотермические эффекты с минимумами при  $547,3^\circ\text{C}$ , связанный с удалением химически связанной воды из глинистых компонентов шихты. Наличие эндоэффекта с минимумами при  $764,8^\circ\text{C}$ , по нашему мнению, характеризуют процесс диссоциации карбоната магния, входящего в состав доломита. Эндотермический эффект при  $824,2$  и  $914,5^\circ\text{C}$  обусловлено окислением тенорита  $\text{CuO}$  с образованием куприта  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Эндотермические эффекты при  $914,5$  и  $1053,3^\circ\text{C}$  характеризуют протекание нескольких процессов: диссоциацию тенорита  $4\text{CuO} \rightarrow 4\text{Cu} + 2\text{O}_2$  и последующее плавление смеси двух оксидов меди.

Эндоэффекты при температурах выше  $1155^\circ\text{C}$  обусловлены, вероятнее всего, плавлением составляющих компонентов глазури.



**Рисунок 2 – Кривая ДСК глазурной шихты оптимального состава**

Таким образом, в выбранной системе сырьевых материалов формируются качественные покрытия темно-серого цвета с эффектом металлизации, отвечающие по физико-химическим свойствам и декоративно-эстетическим характеристикам требованиям ГОСТ 6787–2001, что свидетельствует о возможности их использования в промышленном производстве. Преимуществом разработанных составов глазурей является снижение содержания фриттованного компонента до 20 мас. %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pekkan, K. Production of Metallic Glazes and Their Industrial Applications / K. Pekkan, E. Tasci, V. Uz // Journal of The Australian Ceramic Society Volume. – 2015. – Vol. 51, iss. 1. – P.110–115.
2. Окрашенная полуфриттованная глазурь: пат. ВУ 15607 / И.А. Левицкий, С.Е. Баранцева, А.И. Позняк, Р.В. Головенчик. – Оpubл. 30.04.2012.
3. Фриттованная составляющая глушеной глазури: пат. ВУ 15539 / И.А. Левицкий, С.Е. Баранцева, А.И. Позняк, Н.В. Шульгович. – Оpubл. 28.02.2012.

УДК 666.946

## **СВОЙСТВА КАЛЬЦИЙСУЛЬФОАЛЮМИНАТНОГО (CSA) ЦЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

И.А. Белов<sup>1</sup>, Н.П. Богданова<sup>1</sup>, Е.И. Барановская<sup>2</sup>,  
М.В. Попова<sup>2</sup>, Р. Шяучюнас<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГП «Институт НИИСМ», г. Минск

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

<sup>3</sup>Каунасский технологический университет, г. Каунас

Специальные цементы на основе глиноземистого и кальций-сульфоалюминатного клинкера применяются в производстве строительных растворов и бетонов специального назначения (ремонтные смеси, гидроизоляция, наливные полы и т.д.). Такие цементы широко используются в монолитном строительстве при быстром возведении массивных бетонных сооружений и конструкций (плотина ГЭС «Три ущелья», Китай), где жесткими требованиями являются отсутствие усадочных деформаций, высокая устойчивость к воздействию агрессивных сред, повышенная водонепроницаемость, морозостойкость, долговечность. Сульфоалюминатные цементы характеризуются быстрым набором прочности (до 40–50 МПа в возрасте 2 суток) и относятся к быстротвердеющим и высокопрочным цементам.

Технология производства CSA-цемента принципиально не отличается от технологии портландцемента. Температура спекания сырьевой смеси мела, бокситовой глины и фосфогипса составляет  $(1200 \pm 50)^\circ\text{C}$ , что на  $250^\circ\text{C}$  ниже температуры спекания клинкера для производства портландцемента. Специальные клинкеры легче размалываются. Суммарные удельные энергозатраты на производство специальных цементов на 20–30 % ниже, чем для производства портландцемента.

Совместно с БГТУ (кафедра ХТВМ) в ГП «Институт НИИСМ» изготовлены и испытаны опытные образцы CSA-цемента (таблица 1, таблица 2). Цемент получен совместным помолом до  $S_{уд.}=4200 \text{ см}^2/\text{г}$  клинкера, микрокремнезема и пластификатора С-3. Цемент испытан по показателю прочности при изгибе и сжатии в соответствии с методикой испытаний СТБ ЕН 196-1-2007. Образец для сравнения – портландцемент ОАО «Кричевцементношифер».

Проведены испытания расширяющегося цемента по показателю линейного расширения (таблица 3) в соответствии с методикой СТБ 942-93. Образец для сравнения – добавка РД-1 (ООО «Консолит», РФ по ТУ5743-023-46854090-98).

**Таблица 1 – Результаты испытаний при В/Ц=0,5**

Прочность в возрасте, МПа					
после пропаривания		в 2 суток		в 28 суток	
изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие
Контрольный состав: Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Кричевцементношифер»					
5,9 (при В/Ц=0,4)	39 (при В/Ц=0,4)	6,2	36	6,8	54
Основной состав: опытный образец цемента ЦРП-52,5R					
8,6	54	6,8	42	6,4	55

**Таблица 2 – Результаты испытаний CSA-цемента при В/Ц=0,35  
(расплав стандартного конуса=110 мм)**

Прочность в возрасте, МПа									
после 4ч твердения		48 часов				28 суток			
		при хранении в камере нор- мального твердения		при хранении в воде		при хранении в камере нор- мального твердения		при хранении в воде	
		изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие
7,8	42	7,0	62	7,6	57	7,9	91	7,2	73

**Таблица 3 – Результаты определения линейного расширения**

Состав	Линейное расширение			
	48 часов		28 суток	
	при хранении в воде	при хранении в камере нор- мального твердения	при хранении в воде	при хранении в камере нор- мального твердения
Контрольный	0,003	усадка	0,006	усадка
Замена 10% це- мента бездоба- вочного на до- бавку РД-1	0,03	0,05	0,49	0,20
Замена 10% це- мента бездоба- вочного на CSA-цемент	0,03	0,01	0,23	0,14

Результаты определения прочности опытных образцов, изготовленных с использованием CSA-цемента, представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Результаты определения прочности опытных образцов**

Состав	Прочность в возрасте, МПа							
	48 часов				28 суток			
	при хранении в воде		при хранении в камере нормального твердения		при хранении в воде		при хранении в камере нормального твердения	
	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие	изгиб	сжатие
Контрольный	6,8	40,4	8,6	45,4	10,1	70,1	8,9	68,3
Замена 10% цемента бездобавочного на добавку РД-1	5,7	33,2	6,3	31,2	6,4	50,2	7,8	54,3
Замена 10% цемента бездобавочного на ЦРП	7,1	43,2	8,9	47,5	10,4	75,6	10,9	73,4

Самонапряжение в соответствии с требованиями СТБ 1335-2002 для напрягающего цемента по ГОСТ 30515-2013 (тип II-с) составляет 1,3 МПа (3 суток) и 2,4 МПа (28 суток), что соответствует требованиям для НЦ - 2 (ГОСТ Р 56727-2015).

CSA-цемент испытан в соответствии с требованиями СТБ ЕН 14647 (Цемент глиноземистый. Состав, технические требования и критерии оценки соответствия).

Данные по прочности изготовленных образцов цементов представлена в таблице 5.

**Таблица 5 – Результаты определения прочности опытных образцов по СТБ ЕН 14647**

Прочность на сжатие, МПа				
через 6 ч		через 24 ч		после пропаривания
нормируемая	фактическая	нормируемая	фактическая	фактическая
≥18,0	27,8	≥40,0	45,0	56,7

Цемент испытан по ГОСТ 969-91 «Цементы глиноземистые и высокоглиноземистые. Технические условия». В таблице приведены сравнительные данные испытаний CSA-цемента и глиноземистых цементов различных производителей. Результаты испытаний представлены в таблице 6.

**Таблица 6 – Результаты испытаний по ГОСТ 969-91**

Наименование цемента	Прочность на сжатие, МПа			
	через 24 ч		через 72 ч	
	нормируемая	фактическая	нормируемая	фактическая
CSA-цемент (в/ц=0,35)	–	50,5	–	60,4
Цемент глиноземистый марки CementFondu марки 60 (в/ц=0,36) («Kerneos S.A.», Франция)	≥32,4 (для марки 60)	52,0	≥60,0 (для марки 60)	63,8
Цемент глиноземистый марки GORKAL 40M («GORKASEMENTS Sp. zo.o.», Польша) (в/ц=0,36)	≥22,5 (для марки 40)	42,4	≥40,0 (для марки 40)	43,7
Цемент глиноземистый марки 40 (SIMSAISIDAC 40) («SIMSACIMENTOS ANAYIVETI-CARETA.S.», Турция) (в/ц=0,37)	≥22,5 (для марки 40)	49,6	≥40,0 (для марки 40)	61,8

Проведены испытания CSA-цемента в составах бетонов и строительных растворов. Установлено, что его использование в смеси с портландцементом в соотношении 1:9 приводит к увеличению водонепроницаемости на 4–6 ступеней с одновременным упрочнением и повышением морозостойкости до марок F300–F500.

По результатам испытаний опытного образца цемента установлено, что опытный образец CSA-цемента является быстротвердеющим гидравлическим вяжущим материалом и соответствует классу 52,5R (52,5Б по ГОСТ 31108-2003). В смесях опытного цемента с портландцементом 1:9 и 3:7 при испытаниях по СТБ 942-93 наблюдается линейное расширение от 0,04 до 0,3% с одновременным упрочнением на (10–20)%. Опытный цемент имеет прочностные характеристики сопоставимые с глиноземистыми цементами при испытании по ГОСТ 969-91 и СТБ ЕН 14647.

Испытания опытных цементов в составе строительных растворов и бетонов показали увеличение водонепроницаемости последних на 4–6 ступеней с одновременным упрочнением и повышением морозостойкости до марок F300–F500.

УДК 666.11

## СТЕКЛА С ПОВЫШЕННЫМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ДЛЯ ДИСПЕРСНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Ю. Г. Павлюкевич, Л. Ф. Папко

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Стекланные дисперсные наполнители, применяемые в дорожном строительстве в качестве световозвращающих элементов дорожной разметки автомобильных дорог, при производстве светоотражающих дорожных знаков, должны иметь сферическую форму при диаметре шариков 100–1000 мкм. Коэффициент световозвращения дорожной разметки возрастает с ростом показателя преломления стеклошариков. В связи с этим актуальным является разработка стекол для дисперсных наполнителей с повышенным коэффициентом преломления.

Основное применение стекла с повышенным показателем преломления находят в оптическом материаловедении. К типам и маркам стекол с показателем преломления, составляющим свыше 1,6, относятся флинты и тяжелые флинты, полученные на основе системы  $K_2O-PbO-SiO_2$ , баритовые флинты, которые синтезируют на основе системы  $K_2O-BaO-ZnO-PbO-SiO_2$ , сверхтяжелые кроны, полученные на основе системы  $BaO(ZnO)-La_2O_3-B_2O_3-SiO_2$ . Наибольший вклад в величину показателя преломления стекол вносят такие компоненты, как  $BaO$ ,  $CdO$ ,  $PbO$ ,  $TiO_2$ ,  $ZrO_2$ ,  $La_2O_3$ ,  $Nb_2O_5$ ,  $Gd_2O_3$ ,  $Ga_2O_3$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $Y_2O_3$ ,  $WO_3$  [1].

Применение дорогостоящих соединений лантана, ниобия, гадолиния, иттрия оправдано при получении оптических стекол специального назначения; соединения свинца и кадмия как чрезвычайно опасные и высокоопасные в современном материаловедении применяются крайне ограниченно. Ряд компонентов, таких как  $ZrO_2$ ,  $WO_3$ , оксиды редкоземельных элементов, существенно повышают вязкость стеклорасплава, поэтому вводятся в ограниченном количестве для корректировки показателя преломления.

В связи с этим синтез стекол с высоким показателем преломления проводился нами на основе малокремнеземистых боросиликатных стекол системы  $BaO-TiO_2-B_2O_3-SiO_2$ . Варка стекол проводилась в электрической печи при температуре  $1250 \pm 10^\circ C$ .

Желтый оттенок стекол с повышенным содержанием оксида титана в присутствии примесного оксида железа связан с образованием ряда хромофорных железотитанатных комплексов, поглощающая способность которых усиливается в ряду  $Ti^{4+}-O-Fe^{3+} \rightarrow Ti^{3+}-O-Fe^{3+} \rightarrow Ti^{4+}-O-Fe^{2+}$  [2].

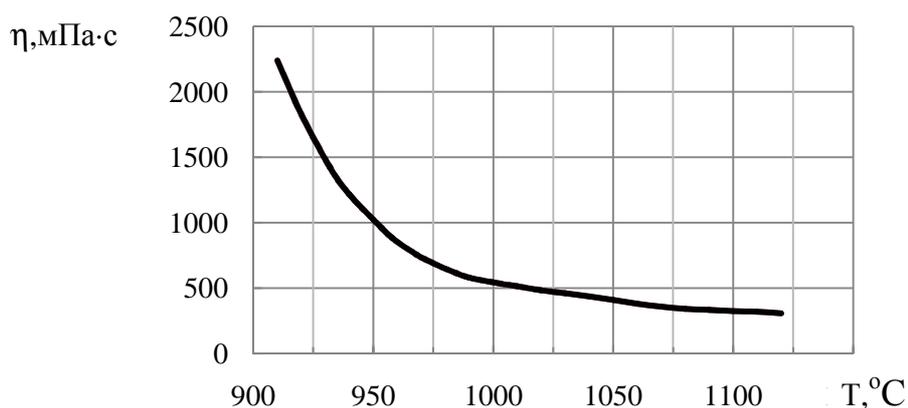
При окислительном потенциале шихты и газовой среды происходит переход  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ , а  $\text{Ti}^{4+}$  не переходит в окрашивающую форму  $\text{Ti}^{3+}$ . Результаты экспериментальных варок стекол показали, что для получения бесцветных титансодержащих стекол при содержании  $\text{TiO}_2$  до 40 мол.% необходимо использовать сырьевые материалы с минимальным содержанием оксида железа, в частности кварцевый песок марок ООВС и ОВС, и повысить окислительный потенциал стекломассы за счет введения в состав шихты азотнокислого бария либо азотнокислого кальция. В отсутствие окислителей в составе шихты наличие в стекле  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в количестве 0,01–0,02 мас.% может вызвать окрашивание стекла. Кроме этого,  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  являются осветлителями при варке легкоплавких стекол.

Кристаллизационная способность опытных стекол, определяемая методом градиентной термообработки в электропечи, возрастает с ростом содержания  $\text{TiO}_2$ , который является инициатором кристаллизации в ситалловых стеклах, и в меньшей степени – с ростом содержания модификатора  $\text{BaO}$ . Верхняя температура кристаллизации опытных стекол находится в пределах 950–1050 °С. Соответственно рекомендуемая температура выработки стеклошариков превышает 1000 °С.

Показатель преломления опытных стекол, определяемый иммерсионным методом, находится в пределах 1,72–1,88 и в наибольшей мере возрастает с ростом содержания оксида титана. Однако в связи с высокой склонностью к кристаллизации стекол с высоким содержанием  $\text{TiO}_2$  его содержание ограничено 30 мол.%.

Химическая стойкость стекол определялась по отношению к реагентам, которые согласно ГОСТ Р 53173-2008 используются для оценки устойчивости стеклошариков, применяемых в качестве световозвращающих элементов дорожной разметки. Качество поверхности оценивалось визуально под микроскопом после обработки следующими реагентами: дистиллированной водой при кипячении в течение 120 мин; 5 %-ным раствором  $\text{HCl}$  при обработке в течение 300 с; 3 %-ным раствором  $\text{NaOH}$  при обработке в течение 300 с; 3 %-ным раствором  $\text{NaCl}$  при обработке в течение 300 с. Установлено, что образцы стекол с содержанием  $\text{BaO}$  35–45 мол.% неустойчивы к воздействию воды и раствора соляной кислоты.

По совокупности технологических и физико-химических свойств выбран оптимальный состав стекла для получения дисперсных наполнителей. Для определения температурных параметров получения стеклошариков проведено исследование высокотемпературной вязкости стеклорасплава на высокотемпературном вискозиметре модели Orton RSV-1600 (рисунок).



**Рисунок – Температурная зависимость вязкости расплава стекла оптимального состава**

Характерной особенностью реологических свойств низкокремнеземистых стекол системы  $\text{BaO-TiO}_2\text{-V}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  являются низкие показатели вязкости при температуре свыше  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ , составляющие менее  $0,5\text{ Па}\cdot\text{с}$ , и резкий рост вязкости при охлаждении до температуры стеклования. Температура стеклования опытных стекол определена с помощью дилатометра DIL 402 PC фирмы «Netzsch» при регистрации дилатометрических кривых и составляет  $556\text{--}602\text{ }^\circ\text{C}$ .

Для формования стеклошариков из стекла с высоким показателем преломления использован центробежный способ формования при струйном питании стекломассой [3]. Высокая скорость твердения данного стекла требует существенного изменения режимов формования стеклошариков в сравнении с натрийкальцийсиликатным стеклом.

Таким образом, разработанное стекло по эксплуатационным характеристикам может быть использовано для получения световозвращающих элементов разметки автомобильных дорог с повышенным коэффициентом световозвращения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Немилов, С.В. Оптическое материаловедение. Оптические стекла / С.В. Немилов. – С.-Петербург.: НИУ ИТМО, 2011. – 175 с.
2. Ходаковская, Р. Я. Химия титансодержащих стекол и ситаллов / Р.Я. Ходаковская. – М.: Химия, 1978. – 288 с.
3. Павлюкевич, Ю.Г. Получение стеклянных дисперсных наполнителей / Ю.Г. Павлюкевич, Л.Ф. Папко, Н.Н. Гундилович // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: материалы межд. научно-техн. конф., 19–21 октября 2016 г., Минск. – С. 148–151.

УДК 666.297

## АНГОВНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ

И.А. Левицкий, А.Н. Шиманская, А. Ю. Циунель

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Ангобы – матовые белые или цветные покрытия, наносимые на лицевую поверхность изделия для получения более гладкой поверхности, скрытия нежелательной окраски черепка, создания рельефного рисунка. Известно множество составов ангобных композиций, однако многие из них отличаются низкой температурой обжига, что не позволяет использовать их в современных условиях производства плиток для полов. Кроме того, применяемые ангобы содержат компоненты, имеющие непостоянный состав и характеризуются значительным содержанием фриттованной составляющей (35–50 мас. %), что значительно повышает себестоимость составов. Кроме того, применение принтерной печати для декорирования керамической плитки в процессе обжига компоненты ангоба взаимодействуют с тонкомолотыми красителями, что приводит к изменению их цвета. Наибольшему влиянию подвержены пигменты, обеспечивающие сиреневые и розовые тона.

В настоящем исследовании в качестве основных компонентов для получения ангобных покрытий использовались следующие сырьевые материалы, мас. %:

– серия 1: циркобит – 10–14; алюмоборосиликатная фритта [1] – 18–22; полевой шпат – 11–17; количество каолина, доломитовой муки, глинозема, огнеупорной глины, кварцевого песка оставалась неизменным во всех изучаемых составах, их суммарное количество составляло 55;

– серия 2: каолин – 15–19; глушенная фритта [2] – 23–27; полевой шпат – 28–32; количество доломитовой муки, глинозема, огнеупорной глины, кварцевого песка оставалась неизменным, их суммарное количество – 30.

Шликер готовился совместным мокрым помолом компонентов шихты в шаровой мельнице (Speedy, Италия) до остатка на сите № 0056 в количестве 0,1–0,3 % при соотношении материал: мелющие тела : вода, составляющим 1:1,5:0,5. Полученная суспензия влажностью (50±1) % наносилась на высушенный до влажности не более 0,5 % полуфабрикат керамических плиток. Покрытые опытными составами ангобов образцы керамической плитки декорировались с помощью принтерной печати, а затем подвергались обжигу в печи FMS-2500 при температуре (1200±5) °С в течение (50±2) мин в ОАО «Керамин»

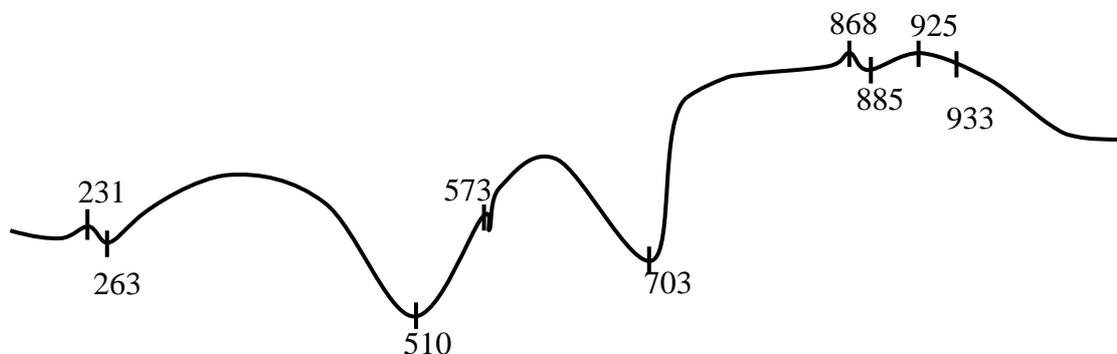
(Минск, Республика Беларусь). Скорость подъема температуры, продолжительность выдержки при максимальной температуре, а также общее время обжига отвечали производственным параметрам.

Исследование включало определение блеска и белизны покрытий на фотоэлектронном блескомере ФБ–2 (Россия) с использованием в качестве эталона увиолевого стекла и баритовой пластинки соответственно. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных ангобов измерялся на электронном dilatометре DIL 402 PC фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–400 °С, микротвердость – на приборе Wolpert Wilson Instruments (Германия). Исследование рентгенофазового анализа проводилось на установке D8 ADVANCE Bruker (Германия). Микроструктура глазурных покрытий исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM–5610 LV с системой химического анализа EDX JED–2201 JEOL (Япония). Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) осуществлялась на приборе DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsch (Германия).

При комплексном изучении физико-химических свойств ангобов во взаимосвязи с особенностями структуро- и фазообразования установлено, что флюсные ангобы, приготовленные на основе алюмоборосиликатной фритты, характеризуются качественной матовой заглушенной фактурой поверхности, а также следующим комплексом физико-химических свойств: белизна – 84–90 %, блеск – 17–25 %, температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) –  $(55,3–62,2) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , микротвердость покрытий – 6526–8018 МПа, термостойкость – 125 °С, химически стойкие к раствору № 3 в соответствии с требованиями ГОСТ 27180–2001, степень износостойкости – 2 за счет формирования в процессе их термообработки кристаллов анортита и наличия реликтовых зерен циркона и корунда, равномерно распределенных по всему объему стекловидной фазы.

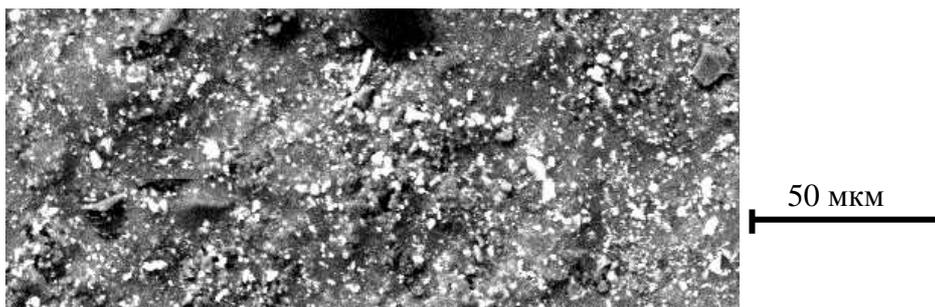
Исследование фазовых превращений в процессе обжига ангоба серии 1 (рисунок 1) показало, что в интервалах температур 220–240 °С и 240–265 °С происходит выгорание органических примесей и удаление адсорбционной воды из гидрослюды, присутствующей в огнеупорной глине и каолине, соответственно. Эндоэффект с минимумом при 510 °С обусловлен процессом удаления химически связанной влаги из минерала каолинита, входящего в состав каолина и огнеупорной глины. Эндотермический эффект при температуре 573 °С связан с полиморфным переходом кварца из  $\beta$ -формы в  $\alpha$ -форму. Минимум при температуре 703 °С обусловлен разложением доломита  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  на  $\text{MgO}$  и  $\text{CaCO}_3$ . При 885 °С на кривой ДСК наблюдается эндотермиче-

ский эффект, обусловленный декарбонизацией  $\text{CaCO}_3$ . При температуре 868 °С и 925 °С, очевидно, происходит кристаллизация анортита. Плавление ангоба начинается при 933 °С.



**Рисунок 1 – ДСК ангоба оптимального состава серии 1**

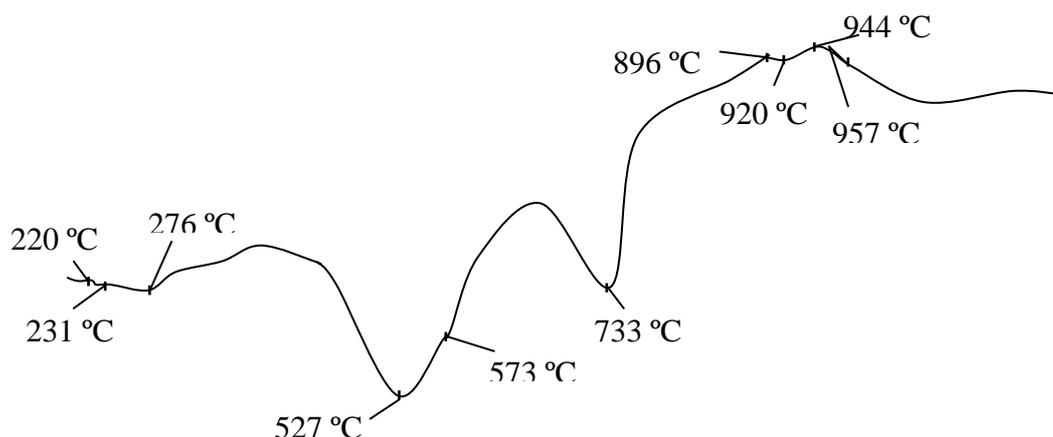
При помощи микрондового анализа установлено, что в стекловидной матричной фазе равномерно распределены кристаллы циркона неизометричной формы размером 1–8 мкм (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Структура ангоба оптимального состава серии 1 (×500)**

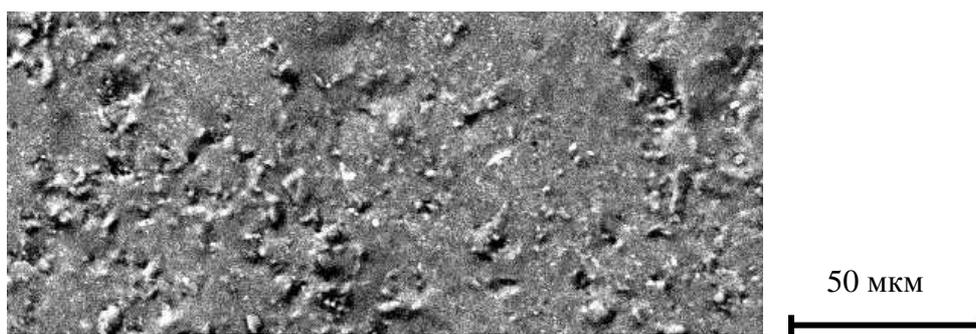
Оптимальные составы ангобных покрытий серии 2 не уступают по декоративно-эстетическим характеристикам ангобам серии 1 и отличаются следующими показателями физико-химических свойств: белизна – 84–86 %, блеск – 17–27 %, ТКЛР –  $(52,2–68,1) \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ , микротвердость – 5992–6456 МПа, термостойкость – 125 °С, химическая стойкость соответствует требованиям ГОСТ 27180–2001. При помощи рентгенофазового анализа выявлено наличие в синтезированных ангобных покрытиях серии 2 таких кристаллических фаз, как корунд, анортит, циркон, волластонит, нефелин, диопсид.

Кривая дифференциально-сканирующей калориметрии ангоба оптимального состава серии 2 приведена на рисунке 3. В сырьевых композициях ангобов серии 2 происходят аналогичные процессы, однако кристаллизационные процессы с образованием анортита, нефелина и диопсида протекают при более высоких температурах – 896°С и 944 °С, а плавление ангоба начинается при температуре 957 °С.



**Рисунок 3 – ДСК ангоба оптимального состава серии 2**

При помощи микронзондового анализа установлено, что в стекловидной матричной фазе встречаются единичные кристаллы циркона неизометричной формы размером 1–2 мкм (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Структура ангоба оптимального состава серии 2 (×500)**

Проведенные испытания в заводских условиях ОАО «Керамин» (г. Минск, Республика Беларусь) показали возможность использования разработанных составов ангобов в условиях промышленного производства по существующей технологии. Кроме того, в оптимальных составах ангобов серии 1 содержание фриттованного компонента снижено до 16 мас. %, а серии 2 – до 23 мас. %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фриттованная составляющая глушеной глазури: пат. ВУ 15539 / И.А. Левицкий, С.Е. Баранцева, А.И. Позняк, Н.В. Шульгович. – Оpubл. 28.02.2012.
2. Глушенная глазурь для хозяйственно-бытовых майоликовых изделий / И. А. Левицкий [и др.] // Стекло и керамика. – 2016. – № 6. – С. 27–30.

УДК 621.926

## СНИЖЕНИЕ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ АГРЕГАТОВ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

П.Е. Вайтехович, Д. Н. Боровский

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

В производстве строительных материалов широко используются процессы измельчения. Они характеризуются большими энергозатратами и высоким абразивным износом деталей и узлов измельчающих агрегатов. В отдельных источниках указывается, что в мире из-за абразивного износа безвозвратно теряется несколько миллионов тонн высококачественной стали. По этой причине уже на стадии разработки новых конструкций измельчающих агрегатов необходимо прогнозировать возможный абразивный износ и принимать меры по его уменьшению.

Из всех измельчающих агрегатов наибольшему износу подвергаются высокоскоростные ударные, в частности, ударно-центробежные мельницы [1]. В первую очередь у них изнашиваются лопасти ротора-ускорителя и отбойные элементы. Метода расчета и прогнозирования интенсивности износа для этих агрегатов до настоящего времени не разработано. В связи с этим данная работа направлена на создание комплексной методики расчета величины износа лопастей ротора-ускорителя центробежной мельницы.

Измельчаемый материал в них подается в центральную зону ротора-ускорителя (рисунок 1).

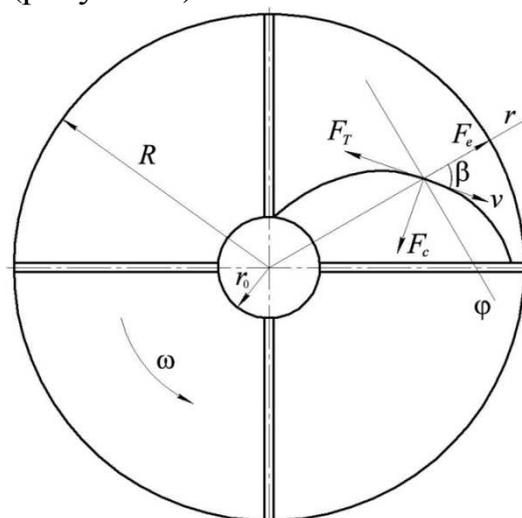


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения траектории движения частиц

Частицы движутся в межлопастном пространстве по поверхности вращающегося диска. Траекторию их перемещения до соприкос-

новения с лопастью определяли с помощью уравнения относительного движения:

$$m \cdot \vec{a}_d = \vec{F}_T + \vec{F}_e + \vec{F}_c, \quad (1)$$

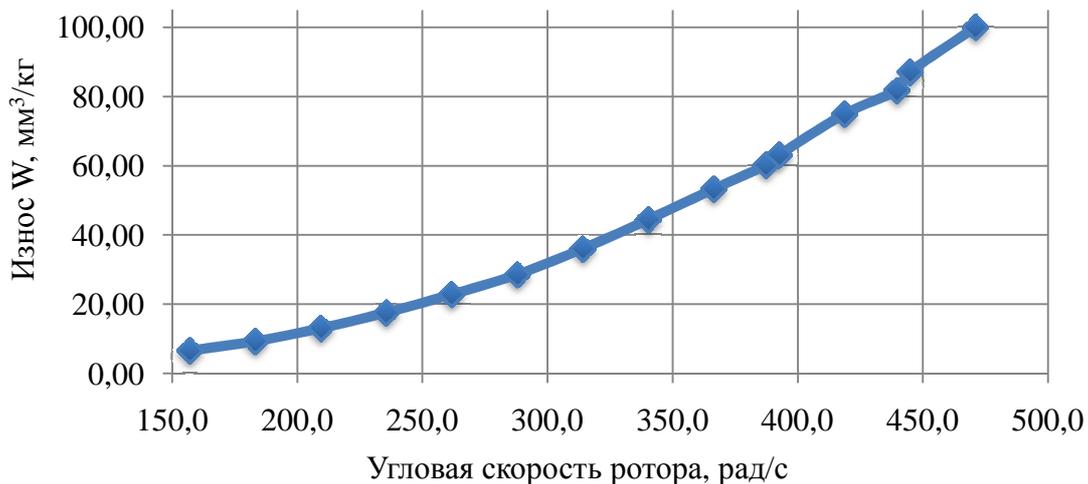
где  $a_d$  – ускорение относительного движения,  $\text{м/с}^2$ ;  $F_T$  – сила трения, Н;  $F_e$  и  $F_c$  – инерционный переносная и кориолисова силы соответственно, Н.

Записав это уравнение в проекциях на оси полярной системы координат [2], определим скорость и угол атаки в момент соударения частиц с лопастью. Эти два параметра дали возможность использовать ударную модель Бекмана-Гоцмана [3] для расчета объемной интенсивности износа. Ее математическое описание представлено в виде:

$$W = \frac{3}{4 \cdot \pi \cdot \rho} \cdot \frac{k}{e_s} \cdot \left[ \tau_{s1} \cdot \sqrt{2 \cdot B} \cdot \left( \frac{5}{3} + \pi \right) \cdot \frac{2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \cos^2 \alpha}{3 \cdot HB} + \tau_{s2} \cdot 0,65 \cdot B^2 \right], \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность абразива,  $\text{кг/м}^3$ ;  $k$  – коэффициент формы частиц;  $e_s$  – плотность энергии среза,  $\text{Дж/м}^2$ ;  $\tau_{s1}$ ,  $\tau_{s2}$  – прочностные адгезионные связи, МПа;  $B$  – аналог глубины проникновения частиц в поверхность;  $HB$  – твердость поверхности;  $v$ ,  $\alpha$  – соответственно скорость ( $\text{м/с}$ ) и угол атаки ( $\text{град.}$ ) в момент соприкосновения абразивных частиц с металлической поверхностью.

Результаты расчета показаны на графической зависимости (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Зависимость величины износа от угловой скорости ротора-ускорителя**

Видно, что интенсивность износа увеличивается с повышением угловой скорости ротора и может достигать  $100 \text{ мм}^3/\text{кг}$ .

После соприкосновения с лопастью частицы продолжают двигаться вдоль нее. Абразивный износ при этом увеличивается за счет истирания. Для определения его интенсивности на указанном участке принята модель Ходакова [4]. Она основана на том, что одиночное зерно абразива срезает слой материала при движении вдоль поверхности. Этот процесс по своей сути подобен процессу шлифования.

После ряда преобразований получена зависимость (3) для определения интенсивности износа на этой стадии представляет соотношение площадей сегмента заглабления  $S_m$  и элементарной ячейки в слое материала  $4 \cdot r_0^2$ .

$$W = \frac{S_m}{4 \cdot \mu \cdot r_0^2 \cdot \rho}. \quad (3)$$

Площадь сегмента взаимосвязана с величиной заглабления абразивного зерна в поверхность лопасти

$$h = \left[ \frac{3 \cdot F(1 - \mu^2)}{4 \cdot E} \right]^{2/3} \cdot r_0^{-1/3}, \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона,  $E$  – модуль упругости.

Сила давления  $F$  зависит от инерционных сил и определяется по формуле (5)

$$F = \frac{4}{3} \pi \cdot r_0^3 \cdot \rho \cdot 2 \cdot \omega \cdot \dot{r}_{cp}. \quad (5)$$

Средняя скорость перемещения частиц вдоль радиальных лопастей ротора  $\dot{r}_{cp}$  определялась по уравнению (1) относительного движения.

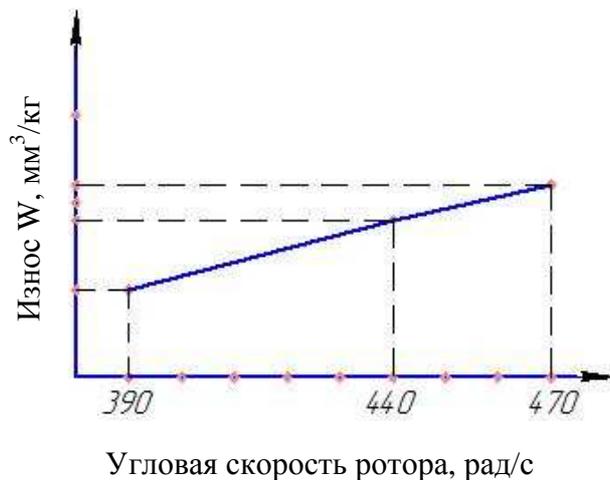
По величине заглабления рассчитывался угол  $\alpha$  (6) и площадь сегмента  $S_m$  (7).

$$\alpha = 2 \cdot \arccos \frac{r_0 - h}{r_0}. \quad (6)$$

$$S_m = \frac{1}{2} \cdot r_0^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha). \quad (7)$$

Результаты расчета интенсивности износа, полученные при помощи формулы (5), представлены на рис. 3.

Видно, что износ при истирании, примерно в два раза ниже, чем при ударе. Суммарная интенсивность абразивного износа может достигать  $150 \text{ мм}^3/\text{кг}$ . Эти результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, полученными в работе [5].



**Рисунок 3 – Зависимость величины износа от угловой скорости ротора**

Таким образом подтверждена адекватность предлагаемой методики расчета объемной интенсивности износа лопастей ротора-ускорителя ударно-центробежной мельницы. Ее можно использовать на стадиях разработки новых и усовершенствования действующих конструкций измельчающих агрегатов для выявления наиболее изнашиваемых узлов и деталей. В последствии за счет применения сменных накладок из износостойких материалов можно значительно увеличить срок их безостановочной работы. Это позволит выполнить основную задачу ресурсосбережения – снизить расход металла на изготовление измельчителей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бароха, Э.Л. Центробежные дробилки и мельницы ударного типа / Э.Л.Бароха, В.В.Воробьев, А.В. Горобец. Центробежная техника – высокие технологии: материалы 3-й МНТК, Минск / ОАО «НПО Центр». – Минск, 2008. – С. 5 – 15.
2. Вайтехович, П.Е. Интенсификация и моделирование процессов диспергирования в поле инерционных сил / П. Е. Вайтехович. – Минск: БГТУ, 2008. – 220 с.
3. Клейс, И.Р. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия / И.Р. Клейс, Х.Х. Ууэмыйс. – М.: Машиностроение, 1986. – 286 с.
4. Ходаков, Г.С. Механизм абразивного шлифования стекла. / Г.С. Ходаков // Оптико-механическая промышленность. – 1985. – № 5. – С. 31 – 36.
5. Таболич, А.В. Конструктивные возможности повышения износостойкости ускорителей центробежно-ударных мельниц / А.В. Таболич, С.Н. Бондаренко // Горная механика и машиностроение. – 2016. – №2. – С. 71 – 77.

## **О ГОМО- И СОПОЛИКОНДЕНСАЦИИ МОЛОЧНОЙ И ГЛИКОЛЕВОЙ КИСЛОТ**

Т.В. Пырх<sup>1,2</sup>, Л.А.Щербина<sup>2</sup>, И.А.Будкуте<sup>2</sup>, Ю.М.Можейко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Могилевхимволокно», г. Могилев

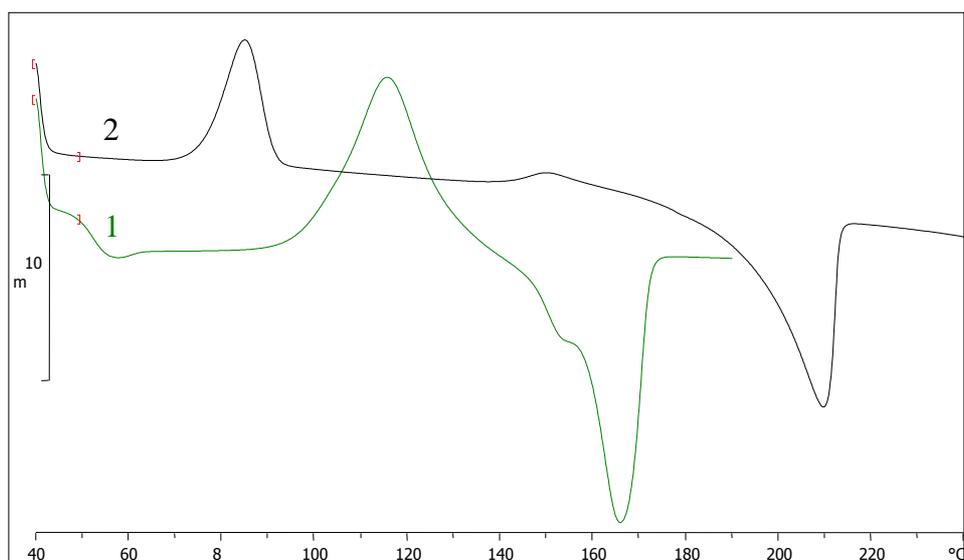
<sup>2</sup>Могилевский государственный университет продовольствия, г. Могилев

Полимеры на основе гидроксикислот находят все большее применение для производства экологически чистых материалов и изделий, используемых в отделке интерьеров помещений и транспортных средств, одноразовых укрывочных и упаковочных материалов, тары, спецодежды, средств защиты и гигиены и т. п.

Из этого класса полимеров широкое распространение получили гомо- и сополимеры на основе молочной (МК) и гликолевой (ГК) кислот. Их особенностью является полная способность к деградации в процессе компостирования, биосовместимость, экологическая безопасность, а также возможность утилизации материалов и изделий на их основе путем рециклинга мономерного сырья.

Традиционно полимеры на основе МК и ГК получают из циклических димеров этих кислот, называемых лактидом и гликолидом, соответственно. Процесс получения таких мономеров многостадийен. Поэтому нами была проведена серия экспериментов по получению методом поликонденсации гомо- и сополимеров МК и ГК и изучению их свойств. На основе предварительно полученных данных, для проведения экспериментов была выбрана температура завершения синтеза, которая составила 160 °С. При данной температуре были получены кристаллизующиеся гомополиМК и гомополиГКс молекулярной массой, достаточной для пленкообразования. При этом температура плавления данных гомополимеров составила 208 и 165 °С, соответственно (рисунок 1).

Свойства полимеров, полученных при сополиконденсации МК и ГК в различном соотношении, представлены в таблице. Для образцов, у которых отсутствуют пики плавления на кривых ДСК, была определена температура размягчения визуальным методом на микронагревательном столике (МНС). Установлено, что при увеличении доли второго сомономера температура плавления синтезированных образцов сополимеров МК и ГК снижается, а образующиеся сополимеры характеризуются аморфной структурой (рисунки 2–3). Проведение сополиконденсации МК и ГК в соотношении 50/50 при 160 °С позволило получить сополимер с низкой температурой размягчения и растворяющийся в хлороформе.

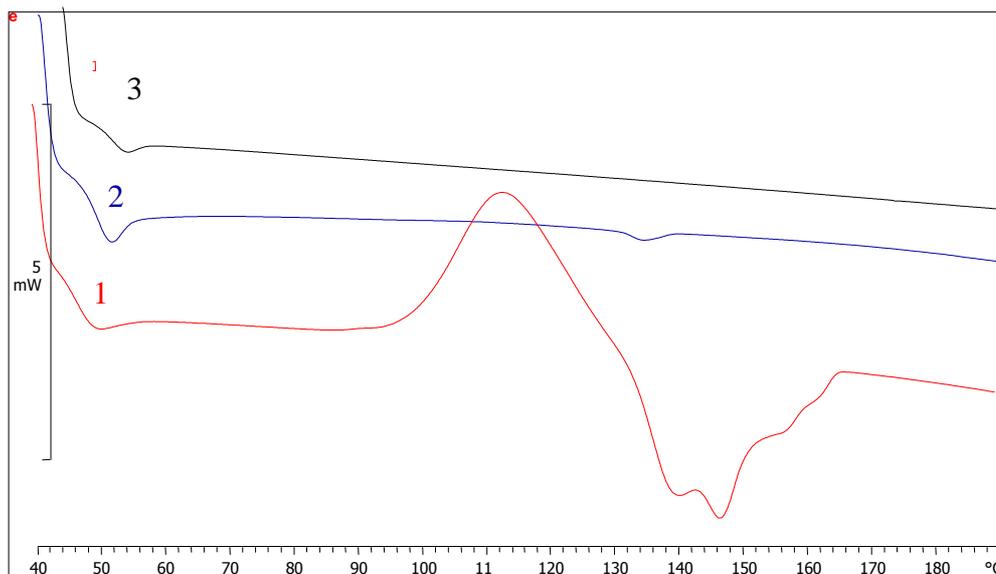


**Рисунок 1 – Кривые ДСК синтезированных образцов полиМК (1) и полиГК (2)**

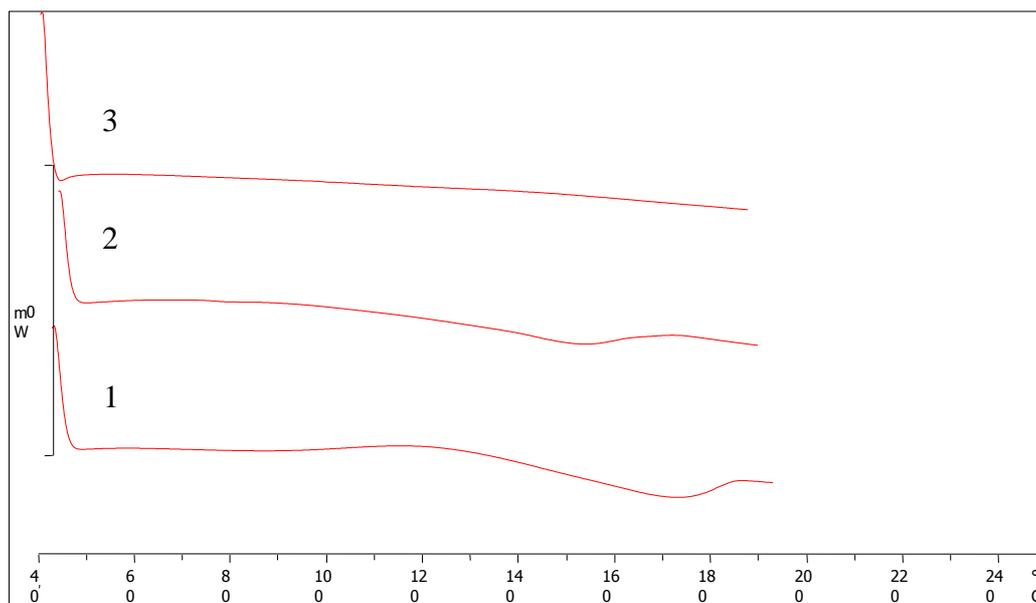
**Таблица – Свойства сополимеров на основе МК и ГК**

Мономерный состав, % (мас.)		Температурные характеристики, °С			Температура размягчения (T <sub>T</sub> ), °С
МК	ГК	T <sub>c</sub>	T <sub>кр</sub>	T <sub>пл</sub>	
100	0	52	116	165	не определялась
99	1	49	113	140/147	не определялась
95	5	48	нет	135	118
90	10	48	нет	нет	72
50	50	нет	нет	нет	60
30	70	нет	нет	нет	69
20	80	нет	нет	153	не определялась
10	90	нет	нет	170	не определялась
0	100	нет	85	208	не определялась

Таким образом, в лабораторных условиях путем поликонденсации при температуре 160°C в присутствии хлорида олова (II) в количестве 0,5% (мас.) из МК и ГК могут быть получены гомополимеры ПМК и ПГК, характеризующиеся регулярной структурой, о чем свидетельствует наличие пиков плавления и кристаллизации на кривых ДСК. Введение в структуру поли[МК-со-ГК] более 5% (мас.) звеньев ГК приводит к снижению способности полимера к кристаллизации. При содержании ГК более 10% (мас.) образуется полимер, не способный кристаллизоваться. Аналогичная ситуация наблюдалась и при введении в поли[ГК-со-МК] звеньев МК более 30% (мас.). Также было отмечено существенное снижение температуры начала течения сополимеров ГК и МК при содержании второго сомономера свыше 20% (мас.).



**Рисунок 2 – Кривые ДСК синтезированных образцов сополимеров МК/ГК следующего состава: 99/1 (1), 95/5 (2) и 90/10 (3)**



**Рисунок 3 – Кривые ДСК синтезированных образцов сополимеров ГК/МК следующего состава: 90/10 (1), 80/20 (2) и 70/30 (3)**

Таким образом, показана принципиальная возможность получения сополимеров МК и ГК методом прямой сополиконденсации. Это позволяет сократить количество стадий при получении биodeградируемых полимеров различного состава на основе данных сомономеров.

УДК 691.4

**ИССЛЕДОВАНИЯ СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
КЛИНКЕРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ  
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО СПЕКАНИЯ**

Ж.П. Чигринова, Л.Н. Махленкова, Н.В. Якимчук  
Государственное предприятие «Институт НИИСМ», г. Минск

В настоящее время в Республике Беларусь клинкерные керамические стеновые материалы не производятся из-за отсутствия запасов клинкерных глин. В связи с этим клинкерные керамические изделия (клинкерный кирпич, черепица, плитка) в республику завозятся из-за рубежа. В республике имеются запасы легкоплавких глин, из которых возможно получение клинкерных керамических изделий при температуре обжига не более 1100°C.

Для проведения исследований о возможности получения клинкерных изделий низкотемпературного спекания из местных сырьевых материалов было опробовано пять сырьевых компонентов. Составы масс приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Составы масс**

Лабораторный номер	Содержание компонентов, мас. %				
	сырьевой компонент № 1	сырьевой компонент № 2	сырьевой компонент № 3	сырьевой компонент № 4	сырьевой компонент № 5
1-0	50	30	20	–	–
1-1	45	35	20	–	–
1-2	40	40	20	–	–
1-3	30	50	20	–	–
2-0	50	–	20	30	–
2-1	45	–	20	35	–
2-2	40	–	20	40	–
2-3	30	–	20	50	–
3-0	20	–	–	–	80
3-1	30	–	–	–	70
3-2	40	–	–	–	60
3-3	50	–	–	–	50

Для приготовления масс составов 2-0 – 3-3 высушенные сырьевые компоненты № 1, № 4 и № 5 измельчали на молотковой дробилке до крупности не более 3,0 мм. Сырьевой компонент № 3 просеивали через сито с размером ячейки 2,0x2,0 мм.

Массы состава 1-0 – 1-3 готовили иначе: сначала сырьевые компоненты № 1 и № 2 пропускали через вальцы тонкого помола, а затем

доизмельчали вручную. Сырьевой компонент № 3 просеивали через сито с размером ячейки 2,0x2,0 мм.

Массы тщательно перемешивали, увлажняли и вылеживали в целях их усреднения по влажности.

Отформованные образцы-плиточки (60x30x15 мм) высушивали до постоянной массы с определением воздушной усадки (таблица 2).

**Таблица 2 – Формовочная влажность и линейные усадки масс**

Лабораторный номер	Формовочная влажность, %	Воздушная усадка, %	Общая усадка, %	Огневая усадка, %
1-0	22,1	7,9	11,9	4,0
1-1	21,5	6,8	10,3	3,5
1-2	21,4	7,4	9,8	2,4
1-3	22,1	8,2	10,2	2,0
2-0	18,4	6,5	11,25	4,75
2-1	18,4	5,9	10,30	4,4
2-2	16,2	6,25	11,12	5,0
2-3	16,1	5,3	9,32	4,0
3-0	15,6	3,3	6,1	2,8
3-1	18,2	3,8	6,3	2,5
3-2	18,0	4,75	8,6	3,85
3-3	19,1	6,0	11,2	5,2

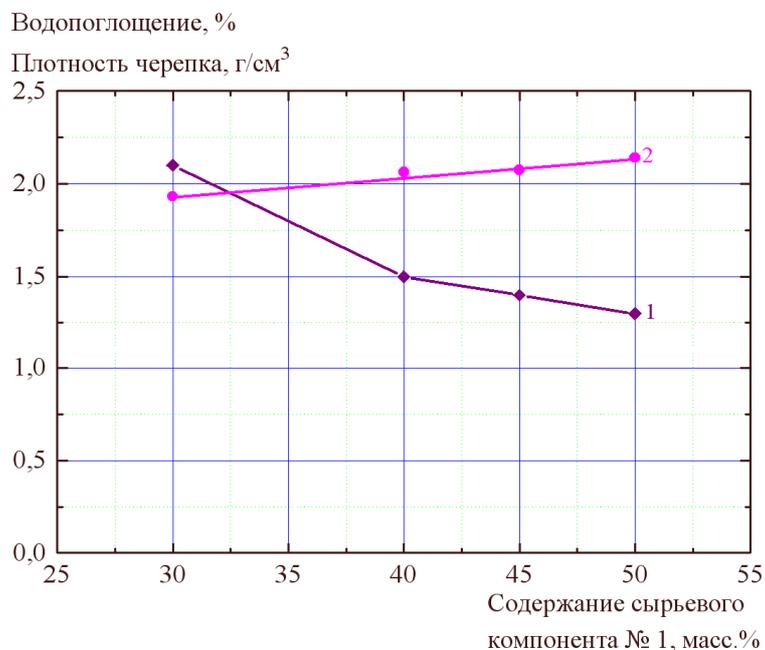
Обжиг проводили в электропечи при температуре 1100 °С с выдержкой при конечной температуре 60 минут. Скорость подъема температуры 3 °С/мин. После обжига замеряли общую усадку образцов (таблица 2) и определяли их водопоглощение, плотность черепка и открытую пористость (таблица 3).

**Таблица 3 – Водопоглощение, плотность черепка и открытая пористость образцов**

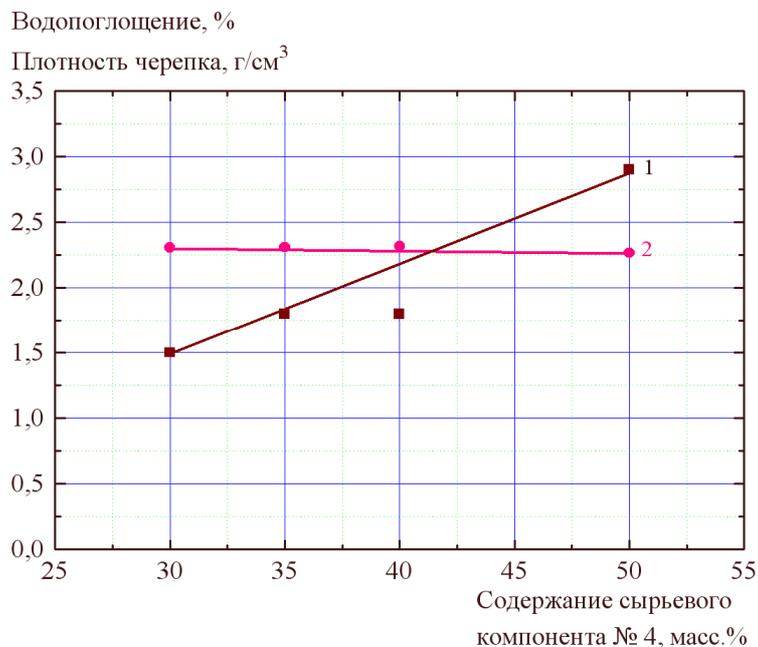
Лабораторный номер	Водопоглощение, %	Плотность черепка, г/см <sup>3</sup>	Открытая пористость, %
1-0	1,3	2,141	2,9
1-1	1,4	2,075	3,0
1-2	1,5	2,063	3,2
1-3	2,1	1,932	3,9
2-0	1,5	2,309	3,5
2-1	1,8	2,311	4,2
2-2	1,8	2,320	4,2
2-3	2,9	2,269	6,6
3-0	8,6	1,993	17,1
3-1	8,2	2,010	16,0
3-2	5,3	2,107	11,3
3-3	3,8	2,159	8,1

В результате обжига образцов составов 1-0÷1-3 на основе сырьевого компонента № 2 произошло частичное вспучивание.

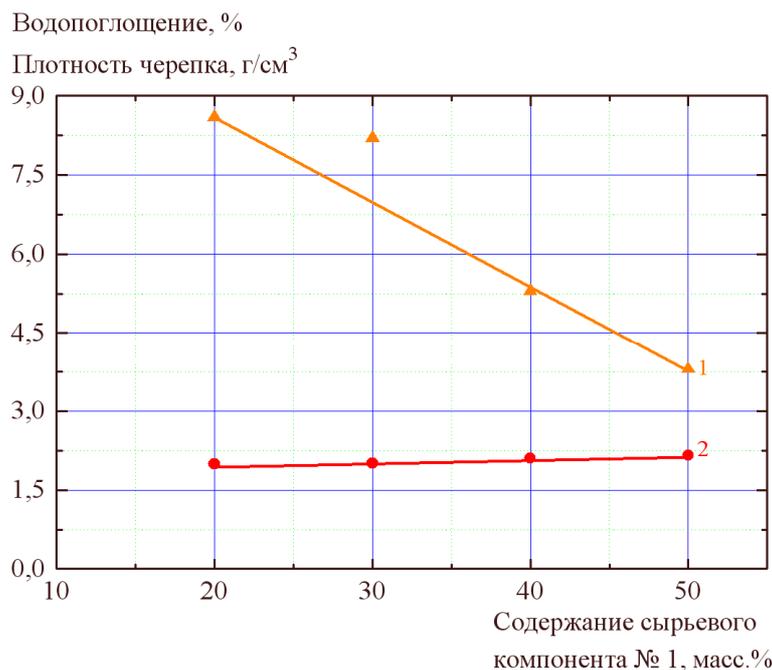
Графические зависимости водопоглощения и плотности черепка от количественного содержания компонентов в составе массы приведены на рисунках 1–3.



**Рисунок 1 – Зависимость водопоглощения (1) и плотности черепка (2) от количественного содержания сырьевого компонента № 1 в составе масс с сырьевыми компонентами № 2 и № 3**



**Рисунок 2 – Зависимость водопоглощения (1) и плотности черепка (2) от количественного содержания сырьевого компонента № 4 в составе масс с сырьевыми компонентами № 1 и № 3**



**Рисунок 3 – Зависимость водопоглощения (1) и плотности черепка (2) от количественного содержания сырьевого компонента № 1 в составе масс с сырьевым компонентом № 5**

Как видно из полученных результатов лабораторных исследований составов масс достигается получение керамического черепка с водопоглощением от 1,3 % до 5,3 % в зависимости от различного содержания компонентов массы при температуре обжига 1100°С.

Получение клинкерных изделий низкотемпературного спекания (1100°С) на основе местных сырьевых материалов позволяет расширить номенклатуру производимой продукции на предприятиях отрасли, решая программу импортозамещения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Августиник А.И. Керамика. –Л.: Стройиздат, 1975. –592 с.
2. Павлов В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий в строительной керамике. – М.: Стройиздат, 1977. – 240 с.
3. Практикум по технологии керамики / под ред. проф. И.Я. Гузмана. – М.: РИФ «Стройматериалы», 2005. – 335 с.

УДК 666.3.015

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СПЕКАНИЯ  
ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ  
КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА**

И.А. Левицкий, О.Н. Хоружик

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

В данной работе изучены процессы спекания глинистого сырья различного химико-минералогического состава Республики Беларусь и их смесей: легкоплавких глин месторождений «Заполье» (20–50 мас.%) и «Лукомль» (20–50 мас.%) с тугоплавкой глиной месторождения «Туровское» (30–60 мас.%).

Глина месторождения «Заполье» (Витебская область) легкоплавкая (огнеупорность 1280°C), умереннопластичная (число пластичности 12,4–14,8), полуокислая (содержание  $Al_2O_3$  составляет 13,7–16,8 мас.%), с высоким содержанием оксидов железа и свободного кварца (5,51 и 32,1 мас.% соответственно), низкодисперсная.

Глина месторождения «Лукомль» (Чашницкий район Витебской области) относится к легкоплавким (огнеупорность 1280 °C), низкотемпературного спекания, неспекающаяся, среднепластичная (число пластичности 16–20), полуокислая (содержание  $Al_2O_3$  16,7–17,4 мас.%), высокодисперсная.

Глина месторождения «Туровское» (Столинский район Брестской области) относится к тугоплавкому глинистому сырью (огнеупорность составляет 1410–1500 °C); среднепластичному (число пластичности 13–26,5), полуокислому ( $Al_2O_3$  содержится в количестве 15–20 мас.%), среднетемпературного спекания.

Минеральный состав глин представлен в таблице.

**Таблица – Минеральный состав исследованного глинистого сырья**

Характеристики	Наименование месторождений глин		
	«Туровское»	«Заполье»	«Лукомль»
Минеральный состав, масс. %:			
свободный кварц	27–30	6–32	15–18
каолинит	30–34	31–36	34–37
монтмориллонит	8–10	7–10	10–13
гидрослюда	35–38	28–30	30–35
примеси	2–4	2–4	3–5

Исследование процессов спекания полиминеральных глин производилось на образцах, полученных методом пластического формования, с последующей сушкой и обжигом при температурах 950–1050°C. Установлено, что глина месторождения «Туровское» характе-

ризуется следующим водопоглощением: 10,3–10,5 %, механической прочностью при сжатии 70,0 МПа. С повышением температуры обжига до 1050 °С водопоглощение снижается до 6,3–6,7 %. Для данного сырья характерно наличие кварца, который при обжиге сырья частично растворяется в расплаве. При температуре обжига 1050 °С фиксируется формирование муллита. Во всем температурном интервале обжига имеется гематит ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ).

Легкоплавкая глина месторождения «Лукомль» при указанных температурах обжига имеет водопоглощение 12,8–13,2% и 0,50–0,59% соответственно. Вспучивание образцов наблюдается при 1100°С.

При термообработке глины «Лукомль» рентгенографически установлено значительное количество анортита ( $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ ), с максимумом содержания при 1000 °С. По мере повышения температуры содержание  $\alpha$ -кварца снижается и он постепенно растворяется в расплаве. Содержание  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  наблюдается во всем температурном интервале термообработки.

Глина месторождения «Заполье» имеет следующее водопоглощение образцов: обожженных при 950 °С – 13,0–13,4 %; 1000 °С – 10,4–10,7 %; 1050 °С – 1,3–1,0 %. Максимальная степень спекания достигается при 1050 °С. Количество фазы анортита весьма значительно. Содержание кварца снижается по мере увеличения температуры термообработки образцов. Отмечается снижение количества гематита с повышением температуры обжига от 950 до 1050 °С. Максимум фиксируется при 950 °С.

Главнейшие свойства клинкерного кирпича (механическая прочность при сжатии и изгибе, плотность, низкое водопоглощение, требуемая морозостойкость и некоторые другие) в значительной степени обусловлены фазовым составом.

При производстве таких изделий мономинеральные глины практически не применяются. Использование нескольких полиминеральных глин, а также их соотношение обуславливает ход фазовых превращений, природу кристаллических фаз и свойства готового продукта. Поэтому исследования физико-химических процессов, происходящих при обжиге сырьевых смесей различного минералогического состава, позволяет установить необходимые соотношения материалов в керамических массах, а также определить режим их обжига, обеспечивающих получение керамических изделий с заданными свойствами.

В местных глинах, содержащих различные глинистые минералы, фазовые превращения изменяются в соответствии с количественным соотношением слагающих их минералов.

При проведении исследований приготовление образцов осуществляли шликерным методом путем помола шихты при влажности 50% до остатка на сетке №0063 в количестве не более 2%. После помола шликер обезвоживался на гипсовой доске и из него готовился порошок с влажностью 6–7%, который вылеживался в течение 5 суток.

Из порошка прессовали стандартные образцы и после сушки отжигали при температуре 950–1100°C с интервалом 50°C. Выдержка при максимальной температуре обжига составляла 1 ч.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что при обжиге щелочных каолинит-гидрослюдистых глин, содержащих значительное количество гидрослюда и кварца (более 30%), последний частично растворяется в расплаве, а нерастворившийся сохраняется без изменения. Образовавшийся частично аморфизированный кремнезем частично вступает во взаимодействие с  $Al_2O_3$ , образуя муллит, что согласуется с исследованиями [1] и характерно для образцов, обожженных при 1100°C.

Свойства керамических материалов, как известно, определяются как фазовым составом, так и текстурой черепка, под которой понимается количественное соотношение и взаимное распределение твердых частиц по отношению друг к другу. Нашими исследованиями установлено, что водопоглощение синтезированных керамических образцов находится в интервале 1,1–3,6 % при максимальной температуре обжига.

Значения водопоглощения исследуемых образцов в значительной степени монотонно снижаются при повышении температуры обжига. Это обусловлено количеством сформированной жидкой фазы, которая заполняет мелкие поры и обуславливает снижение водопоглощения.

Механическая прочность при сжатии синтезированных образцов составляет 140–250 МПа, при изгибе – 47–82 МПа. Значения данных показателей образцов, обожженных при различных температурах, как известно [1], зависит от следующих соотношений:  $SiO_2$ /сумма плавней, а также кварц/гидрослюда. При снижении данных соотношений механическая прочность образцов возрастает. Поскольку при росте содержания гидрослюда и плавней в исследованной глинистой системе отличается повышение количества стеклофазы, то она оказывает преобладающее воздействие на механические свойства. Росту механической прочности способствует также повышение в стеклофазе количества  $SiO_2$  и  $Al_2O_3$ .

Образцы, изготовленные из керамических масс, имеют плотность 2160–2350 кг/м<sup>3</sup>. Для исследованных масс характерно незначи-

тельное увеличение кажущейся плотности с повышением температуры обжига. Рост значений плотности наблюдается в материале при повышении содержания плавней за счет увеличения количества жидкой фазы.

Гидрослюда, имеющая изометричную округлую форму частиц, характеризуется несовершенством кристаллической структуры вследствие беспорядочного сдвига слоев вдоль оптической оси имеет еще большую величину сдвига слоев в водной среде.

Монтмориллонит относится к тому же типу кристаллической решетке, что и гидрослюда.

Как известно, сочетание каолинита, характеризующегося совершенной кристаллической структурой, достаточной окристаллизованностью частиц и монтмориллонита, имеющего несовершенную структуру, форма частиц которого представлена чешуйками и пластинками и лишена четкой огранки, приводит к образованию после обжига структур, имеющих более высокую прочность по сравнению со структурами исходных компонентов.

Значение пористости образцов находятся в интервале 2,5–12,3%. Пористость полученных образцов тесно связана с количественным сочетанием глинистых минералов, и наличие в данной системе 20–40% монтмориллонита, что способствует формированию структуры, обладающей меньшим водопоглощением. Это происходит потому, что форма, размеры и характер разрушения частиц всех глинистых минералов создает возможность интенсификации процессов спекания и уменьшения числа крупных пор. Следовательно, морфология частиц глинистых минералов определяет унаследованность образования прочных структур при обжиге.

Исследованиями фазового состава образцов установлено наличие анортита во всех исследованных составах.

Рост количества муллита в образцах практически не зависит от содержания оксидов типа  $K_2O$  ( $Na_2O+K_2O$ ), а также соотношения кварц/гидрослюда. Однако содержание щелочных оксидов в значительной степени влияет на количество образующегося анортита, что в свою очередь, обуславливает количественный состав жидкой фазы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов, В.Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики / В.Ф. Павлов. – М.: Стройиздат, 1977. – 240 с.

УДК 666.321–033.6/.7(476)(043.3)

**КАОЛИНИТСОДЕРЖАЩИЕ ПОРОДЫ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ – ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СЫРЬЕВОЙ  
МАТЕРИАЛ КЕРАМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ**

О.А. Сергиевич, Е.М. Дятлова, Р.Ю. Попов

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Обеспечение промышленности строительных материалов собственным каолиновым сырьем и освоение перспективных технологий по его переработке являются весьма актуальными проблемами в отечественной отрасли. Использование отечественного минерального сырья в составах масс для получения керамических материалов различного назначения существенно повлияет на себестоимость изделий, а также позволит решать вопросы ресурсосбережения и импортозамещения.

Благодаря уникальному химико-минеральному составу, обеспечивающему требуемые эксплуатационные свойства и высокое качество продукции, каолиновое сырье является незаменимым компонентом для получения строительных и огнеупорных керамических изделий. В Республике Беларусь каолины широко используются промышленностью, однако являются предметом импорта, поскольку известные месторождения отечественных каолинов до настоящего времени не разрабатываются.

Месторождение каолинов «Ситница» расположено в Лунинецком районе Брестской области: мощность первичных каолинов составляет 2,0–9,1 м, определены запасы в количестве 2,53млн т. Месторождение «Дедовка» расположено в Житковичском районе Гомельской области: представлено первичными и вторичными каолинами с глубиной залегания полезного ископаемого 29,7–37,4 м, запасы первичных каолинов подсчитаны в количестве 7,02 млн.т, вторичных – 1,23 млн. т.согласно данным Государственного предприятия «НПЦ по геологии»[1]. Следует отметить, что сведения об особенностях строения, структуре и свойствах каолинов данных месторождений с целью их использования керамической отраслью довольно ограничены [2].

Цель работы – выявление структурных особенностей, физико-химических свойств природных каолинов месторождений «Ситница» и «Дедовка» Республики Беларусь и возможность их использования для получения керамических огнеупорных и облицовочных материалов.

Качественный фазовый состав природных каолинов месторождений «Ситница» и «Дедовка» Республики Беларусь согласно рентгенофазовому анализу представлен каолинитом, кварцем, полевыми

шпатами (в основном микроклином) и гидрослюдами с незначительными различиями интенсивности характеристических максимумов присутствующих минеральных фаз.

Расчетный минеральный состав исследуемых природных каолинов на основании рентгенофазового и химического анализа согласно методике Ю. Г. Дудерова [3] представлен в таблице 1.

**Таблица 1 – Расчетный пофракционный минеральный состав каолинов**

Месторождение каолинов	Размер частиц, мм	Содержание и наименование минералов, %							
		кварц	микро- клин	аль- бит	као- линит	монтмо- риллонит	гидро- муско- вит	иллит	рутил
Ситница	более 1	53,46	21,37	2,70	0,08	–	20,65	1,47	0,27
	1–0,5	65,92	19,27	1,86	0,15	–	10,82	1,77	0,19
	0,5–0,1	62,41	13,05	1,60	0,20	–	18,27	3,90	0,50
	0,1–0,063	44,71	13,20	1,26	11,01	–	20,58	8,31	0,92
	менее 0,063	0,73	4,46	3,98	74,63	3,13	6,96	5,17	0,94
	средняя проба	25,65	9,86	1,00	42,52	0,01	15,37	4,77	0,67
Дедовка	более 1	64,66	29,26	0,85	0,17	–	4,23	0,75	0,08
	1–0,5	57,68	35,41	1,02	0,86	–	4,39	0,59	0,07
	0,5–0,1	41,73	45,08	1,10	1,16	–	10,16	0,62	0,16
	0,1–0,063	33,02	45,93	1,27	4,17	–	14,66	0,78	0,18
	менее 0,063	6,51	9,15	0,08	65,80	2,22	14,27	1,34	0,63
	средняя проба	38,97	17,07	0,83	14,82	0,02	26,63	1,40	0,26

Установлено, что полевошпатовая часть помимо микроклина представлена альбитом в количестве 1 % для каолина «Ситница» и 0,8 % для каолина «Дедовка»; присутствуют также кварц и рутил (0,3 и 0,7 % соответственно). В качестве глинообразующих минералов содержатся каолинит, гидрослюда и незначительное количество монтмориллонита (0,01 и 0,02 %).

При изучении термических эффектов в температурном интервале 20–1100 °С на кривой ДСК отмечены наиболее значимые термоэффекты: образование метакаолинита (минимум эндоэффекта соответствует температурному интервалу 520–540 °С с небольшим смещением

для каолина «Дедовка» на 5–38 °С); раздвоение пика в виде ступеньки при 570–580 °С (полиморфное превращение кварца из β- в α-форму); процесс муллитизации (максимум экзоэффекта при 970–1010 °С).

На дилатометрических кривых каолинов белорусских месторождений фиксируется значительная общая усадка при температурах удаления кристаллизационной воды и начала муллитизации каолинита. Спекание для каолина «Ситница» фиксируется при следующих температурах, °С: природный – 1361, обогащенный – 1225; для каолина «Дедовка», °С: природный – свыше 1400, обогащенный – 1257. Процесс размягчения за счет образования жидкой фазы соответствует температуре 1362 °С для обогащенного каолина «Ситница» с общей усадкой 15,70 % и 1343 °С – для обогащенного каолина «Дедовка» с усадкой 10,45 %.

Физико-химические свойства природных и обогащенных каолинов приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Средние значения физико-химических свойств каолинов**

Наименование показателя	Наименование месторождения			
	каолин «Ситница»		каолин «Дедовка»	
	природный	обогащенный	природный	обогащенный
Коэффициент чувствительности к сушке	0,13	0,29	0,10	0,16
Воздушная усадка, %	4,1	5,7	3,9	4,8
Запесоченность, %	65,2	1,8	60,4	2,7
Показатель упругости, кг/м <sup>3</sup>	49	1320	60	1440
Порог структурообразования, кг/м <sup>3</sup>	1175	1120	1355	1300
Число пластичности	6,9	18,5	2,9	12,6
Адсорбция метиленового голубого, мг/г	9,5	14,3	6,4	9,0
Концентрация водородных ионов (рН)	5,7	4,8	6,6	7,9
Огнеупорность, °С	1620	1710	1750	1780
Водопоглощение (Т <sub>обж</sub> = 1400°С), %	4,17	2,44	4,83	1,52
ТКЛРобразцов (Т <sub>обж</sub> = 1400°С), ·10 <sup>-6</sup> , К <sup>-1</sup>	6,74	6,21	6,51	5,95

Можно отметить, что чувствительность к сушке и воздушная усадка исследованных каолинов практически одинаковы. Низкие показатели адсорбции (менее 9,5 мг/г) можно объяснить повышенным содержанием крупнодисперсной фракции в каолиновом сырье, которая по минеральному составу представлена в основном кварцевыми и полевошпатовыми включениями.

Комплексный анализ исследования физико-химических и технологических свойств каолинового сырья месторождений «Ситница» и «Дедовка» показал, что по большинству показателей они не соот-

ветствуют требованиям ГОСТ 21286–82 на обогащенное каолиновое сырье, что ограничивает области его применения. Проведенные исследования показывают возможность использования природных каолинов белорусских месторождений для производства некоторых видов огнеупорных и строительных керамических материалов, что позволит расширить минерально-сырьевую базу керамической промышленности Республики Беларусь.

Установлена возможность применения природного каолина «Ситница» для производства алюмосиликатных огнеупоров. Разработаны составы низкоглиноземистых полукислых огнеупорных материалов группы LF 10 с использованием каолина в количестве 30 мас. %, обжигаемых при температуре 1250 °С. Синтезированные материалы имеют следующие показатели физико-химических свойств: пористость открытая – 15,9, механическая прочность при сжатии – 42,3 МПа, огнеупорность – более 1580 °С, которые соответствуют требованиям ГОСТ 28874–2004 и ГОСТ 390–96.

Проведенная опытно-промышленная апробация показала, что в условиях ОАО «Керамин» использование природных каолинов месторождений «Ситница» и «Дедовка» при полной замене украинского каолина-сырца Жежелевского месторождения в составах керамических масс обеспечивает получение плитки керамической для полов при температуре обжига 1200 °С со следующими показателями, соответствующими требованиям ГОСТ 6787–2001 и СТБ EN 14411–2009: с каолином «Ситница» – водопоглощение 0,25 %, механическая прочность при изгибе 41,7 МПа; с каолином «Дедовка» – соответственно 0,49 % и 39,6 МПа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каолины / В. А. Вечер [и др.] // Полезные ископаемые Беларуси : к 75-летию Белорус. науч.-исслед. геологоразведоч. ин-та / Л. Ф. Ажгиревич [и др.] ; редкол.: А. М. Синичка (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2002. – С. 323–327.

2. Особенности химико-минералогического состава и свойства каолиновбелорусских месторождений /О.А. Сергиевич,Е.М. Дятлова, Г.Н. Малиновский, С.Е. Баранцева, Р.Ю. Попов // Стекло и керамика. – 2012. – № 3. – С. 25–31.

3. Дудеров, Ю.Г. Расчеты по технологии керамики : справ. пособие / Ю.Г. Дудеров, И.Г. Дудеров. – М.:Стройиздат, 1973. – 80 с.

УДК 666.295

## ГЛАЗУРНЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$

И.А. Левицкий, А.Н. Шиманская, А.А. Муравьев

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Многообразие составов используемых керамических масс, широкий спектр пигментов различных производителей, сокращение тепловых процессов термообработки керамических изделий требует постоянного совершенствования составов фриттованных глазурных покрытий для декорирования майоликовых изделий, плиток для внутренней облицовки стен, изразцов и другой продукции.

Особенно актуальной является задача обеспечения устойчивости глазурных покрытий при обработке в посудомоечных машинах. Общий принцип действий таких машин основан на подаче воды с помощью мощной помпы на форсунки и последующим ее распылением на посуду. Температура воды составляет от 65 до 85°C и воздействует в течение 75–110 с.

Данные исследования проводились в области малощелочных высококремнеземистых составов стеклообразующей системы  $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . Исследованная область характеризовалась следующим содержанием оксидов, %<sup>1</sup>: 60–75  $\text{SiO}_2$ ; 10–20  $\text{B}_2\text{O}_3$ ; 1–10  $\text{CaO}$  при постоянном количестве компонентов, %:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 6;  $\text{K}_2\text{O}$  – 5,5;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 3,5. Варка стекол осуществлялась при температуре  $1450 \pm 10^\circ\text{C}$  в газопламенной печи. В исследованной системе синтезированы прозрачные и в большинстве заглушенные и опалесцирующие стекла. Область прозрачных стекол характеризуется содержанием  $\text{CaO}$  в количестве 1–3% и их количество в исследованной системе немногочисленно.

ТКЛР синтезированных стекол лежит в интервале  $(48-65) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ , измеренный в интервале 20–300°C на электронном dilatометре DEL 402 РС фирмы «Netzsch» (Германия).

Температура начала размягчения изменяется в пределах от 610 до 750°C в зависимости от содержания  $\text{CaO}$  и носит линейный характер.

Микротвердость стекол, исследованная на приборе WolpertWilson Instruments (Германия), находится в пределах 475–670 МПа. Пониженные значения микротвердости характерны для ликвирующих составов и могут быть обусловлены их фазовым разделением.

---

<sup>1</sup> Здесь и далее по тексту приведено массовое содержание (мас.%)

Исследование структуры стекол методом электронной микроскопии на сканирующем микроскопе JSM-5610 LVc системой химического анализа EDXJED-2201 JEOL (Япония), выявило отсутствие их признаков кристаллизации. Рентгенофазовым анализом на установке D8 ADVANCE Brucker (Германия) установлена их рентгеноаморфность.

Изучение влияния термообработки на структуру всех типов стекол проводилось как методом принудительной кристаллизации в интервале температур 650–1200°C в течение 1 ч, так и в процессе длительной выдержки при заданной температуре в течение 3–6 ч.

Установлено, что прозрачные стекла как при одночасовой, так и при длительной выдержке не проявили признаков фазового разделения. Размер микронеоднородностей, фиксируемых в исследованных стеклах, не превышает 0,1 мкм и данные неоднородности можно отнести к флуктуациям плотности. Термообработка в течение 3–6 ч обуславливает уменьшение размеров неоднородностей, приводя к практически полной гомогенизации.

Исследования влияния термообработки опалесцирующих стекол показало их глушение. Для исследования причины глушения проводилась изотермическая выдержка образцов при 700–800°C в течение 2–4 ч. Установлено наличие явлений вторичного расслоения, что особенно характерно для составов, содержащих 6–8 % CaO. Длительное прогревание образцов в течение 6 ч не приводит к увеличению размеров капель, которые имеют размеры 1,5–2,0 мкм.

Кривые ДТА проявляют особенность структуры исследуемых стекол. Опалесцирующие составы характеризуются двумя температурами стеклования, регистрируя наличие двух стекловидных фаз, причем одна из них более легкоплавкая. Температура ее размягчения составляет 630–680 °C, а более тугоплавкой – 810–825 °C.

Проведенные исследования свидетельствуют о расширении границ метастабильной несмешиваемости в исследованных опалесцирующих стеклах при температуре 700°C. Термообработка при температуре 800–825°C оказывает незначительное влияние на расширение границ ликвации, что нами было установлено и ранее для стекол данной системы [1]. Температура размягчения однородных прозрачных стекол составляет 730–750°C, температура стеклования – около 560°C.

С целью установления элементного состава капельной и вторичной фаз ликвирующих стекол использовался сканирующий электронный микроскоп высокого разрешения MIRA3c рентгеноспектральным микроанализатором EDXX-Махи приставкой фазового анализа EBSDHKL (Чехия).

Для исследования проводилось выращивание капель в течение 48 ч при температуре 750–780 °С в стеклах, включающих, %: 3,5Na<sub>2</sub>O; 5,5K<sub>2</sub>O; 6Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 6CaO; 14B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·65SiO<sub>2</sub> (состав 8).

В результате длительной термообработки выращены капли, близкой к сферической форме размерами 2,3–2,5 мкм. По данным рентгеноспектрального анализа, содержание SiO<sub>2</sub> в матричной фазе на 10–20 % больше, чем в капельной; содержание CaO и Na<sub>2</sub>O в каплях и матрице отличается на 3–5 %. В капельной фазе установлено также присутствие B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. CaO сосредоточен преимущественно в каплях.

Исследование структуры стекол методом ИК-спектроскопии производилось на ИК-Фурье спектрометре NEXUSESP (ThermoScientific, США).

В исследованных стеклах всех типов присутствует широкая полоса поглощения с максимумом при 1400–1420 см<sup>-1</sup>. Она относится к валентному асимметричному дважды вырожденному колебанию атомов в связях В–О в треугольнике [BO<sub>3</sub>] [2]. Полоса в области 700 см<sup>-1</sup> отражает внеплоскостные деформационные колебания в этих же группировках. Опытные стекла, содержащие различное количество B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10–20 %) не претерпевают каких-либо существенных изменений. Полосы поглощения принадлежат трехкоординированному бору. Сопоставление ИК-спектров стекол с различным содержанием CaO, введенным вместо SiO<sub>2</sub>, позволяет обнаружить некоторое смещение максимума основной полосы поглощения в области 1100 °С в низкочастотную область. Это обусловлено снижением степени полимеризации алюмокремнекислородных группировок и переходом от каркасных структур к слоистым и цепочечным [3, 4]. Ион кальция проявляет характер иона-модификатора, способствующего разрыву связи Si–O–Si, поэтому с увеличением его концентрации происходит частичная деполимеризация кремнекислородных группировок стекла.

На основании проведенных исследований осуществлен синтез прозрачных блестящих глазурей в области системы Na<sub>2</sub>O–CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> при содержании, %: CaO 1–3; B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10–14.; SiO<sub>2</sub> 71–73 и постоянном содержании Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O и Na<sub>2</sub>O, указанном выше.

Фритты подвергались помолу с введением в качестве мельничной добавки 13 % огнеупорной глины и 0,8 % KNO<sub>3</sub> сверх 100 %. Помол производился до остатка на сите № 0063 в количестве 1,5–2 %. Нанесение прозрачных глазурей осуществлялось при плотности суспензии 1,48–1,5 г/см<sup>3</sup> на полуфабрикат изделий, обожженный при температуре 950–980 °С, с водопоглощением черепка 18–22 %. Обжиг покрытий производился в камерной электрической печи фирмы LAC (Чехия) при следующем режиме обжига: подъем температуры от 20 до 400 °С – 2 ч;

от 400 до 600°C – 1,5 ч; от 600 до 800°C – 1,5 ч; от 800 до 1050°C – в течение 2 ч. Выдержка при 1050°C осуществлялась в течение 1,5 ч. Охлаждение изделий – инерционное в течение 48 ч.

Глазурные покрытия характеризовались высокой прозрачностью, отсутствием дефектов. Приготовленные на их основе цветные глазури преимущественно оранжевых и красных тонов, а также других цветовых оттенков, получены введением от 5 до 8 % жаростойких пигментов. Совместный помол пигментов и глазурной суспензии производился в шаровой мельнице помолом в течение не менее 4-х часов.

Блеск покрытий, определенных с помощью блескомера фотоэлектрического ФБ-2 составил 68–72 %, микротвердость прозрачной глазури – 4900–5100 МПа. Температурный коэффициент линейного расширения глазурного покрытия изменяется в узком интервале –  $(48,1-49,7) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$  при значениях ТКЛР керамической основы –  $(48-50) \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ . Изделия обладают высокой термической устойчивостью, составляющей 250 °С.

Данные глазури обеспечивают устойчивость при использовании пигментов практически всех производителей.

По заключения ГУ «Минский городской центр гигиены и эпидемиологии» отсутствует миграция вредных веществ (бора и алюминия) из разработанных глазурных покрытий в растворы, имитирующие пищевые жидкости.

Испытания покрытий в промышленных условиях ОАО «Белхудожкерамика» подтвердили возможность применения данных глазурей для декорирования изделий, обрабатываемых механизированным способом в посудомоечных машинах.

Исследования опалесцирующих стекол, обеспечивающих глушение при термической обработке, являются базовыми для синтеза глушенных покрытий с введением для обеспечения кристаллизационных процессов оксидов цинка и циркония.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Левицкий, И.А. Легкоплавкие глазури для облицовочной и бытовой керамики / И.А. Левицкий. – Минск: БГТУ, 1999. – 396 с.
2. Накамото, К. Инфракрасные спектры неорганических соединений / К. Накамото. – М.: Мир, 1966. – 411 с.
3. Плюснина, И.И. Инфракрасные спектры силикатов / И.И. Плюснина. – М.: Изд-во МГУ, 1967. – 189 с.
4. Плюснина, И.И. О результатах исследования инфракрасных спектров поглощения ряда кольцевых силикатов / И.И. Плюснина. // Жур. прикл. спектр. – 1961. – Т. 2, № 3. – С. 330–336 с.

УДК 621.926

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРУШАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ МЕЛЬНИЦЕ**

П.Е. Вайтехович, Д. Н. Боровский

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Планетарные мельницы относятся к мельницам барабанного типа и являются высокоэффективными измельчающими агрегатами. Их исследования проводятся во многих странах, в том числе и авторами данной работы [1]. При измельчении материала на него действуют три разрушающих воздействия: раздавливанием, истиранием и ударом. Влияние каждого из указанных способов воздействия на эффективность измельчения оценивалось только косвенно, без расчета разрушающих напряжений. В связи с этим целью данной работы является количественная оценка разрушающего воздействия мелющих тел на измельчаемый материал.

В качестве объекта для аналитических исследований выбрана горизонтальная планетарная мельница с внешней обкаткой. Как и в большинстве исследованных ранее вариантов конструкций, радиус барабана принят  $r = 0,1$  м, геометрический критерий  $k = r/R = 0,5$ , степень загрузки 50%. Поскольку экспериментальные исследования показали, что наибольшая эффективность достигается при центрифугальном режиме движения загрузки, то анализу подвергался только этот режим.

Для устойчивого центрифугального режима основной зоной является безотрывное движение, но ближе к центру барабана имеет место скольжение и даже отрыв мелющих тел с последующим их падением.

Ввиду того, что разрушающие напряжения в планетарной мельнице ранее не рассчитывались, принято решение по возможности установить их максимальные значения в характерных точках сегмента загрузки. Таковыми являются точки зоны безотрывного движения, соприкасающиеся со стенкой барабана, и точки по внешней границе двух других зон. Причем в зонах скольжения и отрыва напряжения в разрушаемом материале определялись только в одной точке, находящейся на пересечении границы зоны и прямой, проведенной через центр барабана, перпендикулярно водилу. Руководствуясь принципом достижения максимальных напряжений, в качестве основного технологического параметра принята максимальная угловая скорость барабана  $\omega = 180$  рад/с.

С целью сравнения расчеты проводились и для угловой скорости  $\omega = 90$  рад/с. Диаметр мелющих стальных тел принят  $d = 18,5$  мм, час-

тиц измельчаемого материала – 1 мм. В качестве измельчаемого материала при аналитических исследованиях использовалось стекло с пределом прочности на сжатие  $\sigma_{сж} = 1000$  МПа. На начальном этапе исследовалась преобладающая в данном случае зона сжимающего воздействия. Сила давления мелющих тел на частицу материала, находящегося на поверхности барабана, рассчитывалась по предложенной модели [2] с учетом взаимодействия мелющих тел:

$$F = \frac{2}{3} \pi r_1^2 \rho_1 \left[ \omega^2 \frac{(r_i + r_1)^2 - r_0^2}{2} + (r_i + r_1 - r_0) \left( \frac{\omega^2 k^2 R}{1+k} \cos(\psi - \varphi) - g \cos \psi \right) \right] \quad (1)$$

где  $r_1$  – радиус мелющего тела, м;  $\rho_1$  – плотность измельчаемого материала, кг/м<sup>3</sup>;  $r_i$  – текущий радиус, м;  $r_0$  – нулевой радиус, м;  $\omega$  – угловая скорость барабана, рад/с;  $\psi$ ,  $\varphi$  – текущий угол и угол поворота водила соответственно, град.

Расчеты сжимающих напряжений проводились при фиксированном положении барабана с углом поворота водила  $\varphi = 45^\circ$ . При этом определялось их значение по всему сегменту загрузки с интервалом  $\psi = 15^\circ$ . Результаты расчета свидетельствуют о том, что в пределах сегмента загрузки сжимающие напряжения изменяются циклически. Таким образом, даже в одном фиксированном положении процесс воздействия мелющих тел на материал не статичен. Естественно, в каждом новом положении силовое воздействие будет изменяться, и за счет этого обеспечится нестационарное динамическое нагружение материала. Из расчетов для угловых скоростях  $\omega = 90$  рад/с и  $\omega = 180$  рад/с было получено  $\sigma_{max} = 92,6$  МПа. Данное напряжение не позволит разрушить исследуемый материал (стекло).

Оценить ударное воздействие гораздо сложнее, чем раздавливающее. Здесь необходимо определить силу удара мелющего тела о частицу материала и площадь их контакта в момент удара.

Силу удара можно определить, используя модель удара Герца [3], согласно которой продольный удар двух тел может быть представлена моделью удара абсолютно твердых тел, взаимодействующих между собой в общем случае через нелинейный упругий элемент.

Используя данную модель можно получить максимальную силу удара [3]:

$$P_{max} = k^{2/5} \cdot \left( \frac{5}{4} \cdot m \cdot v_0^2 \right)^{3/5}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от кривизны поверхностей тел в точке контакта и свойств материала;  $m$  – приведенная масса, кг;  $v_0$  – начальная скорость мелющего тела, м/с.

Коэффициент пропорциональности  $k$  определяется по формуле:

$$k = \frac{4}{3 \left[ (1 - \mu_1^2) / E_1 + (1 - \mu_2^2) / E_2 \right]} \cdot \sqrt{\frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}}, \quad (3)$$

где  $r_2$  – радиус кривизны частицы материала, м;  $\mu_1, \mu_2$  – коэффициенты Пуассона мелющего тела и материала соответственно;  $E_1, E_2$  – модуль упругости мелющего тела и материала соответственно, МПа.

$$m = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}, \quad (5)$$

где  $m_1, m_2$  – масса мелющего тела и материала соответственно, кг.

Для определения площади контакта используем методику, основанную на теории Герца и опробованную Шараповым [4].

Площадь контакта  $S$  предлагается рассчитывать по формуле:

$$S = 2\pi \cdot r_1^2 - \pi \cdot r_2 \cdot \sqrt{4r_2^2 - r_2^2 \cdot h \cdot (2r_1 - h) \cdot \frac{4r_1 \cdot r_2 - 2r_1 \cdot h + 4r_2^2 - 4r_2 \cdot h + h^2}{r_2^2 \cdot (r_1 + r_2 - h)^2}}, \quad (6)$$

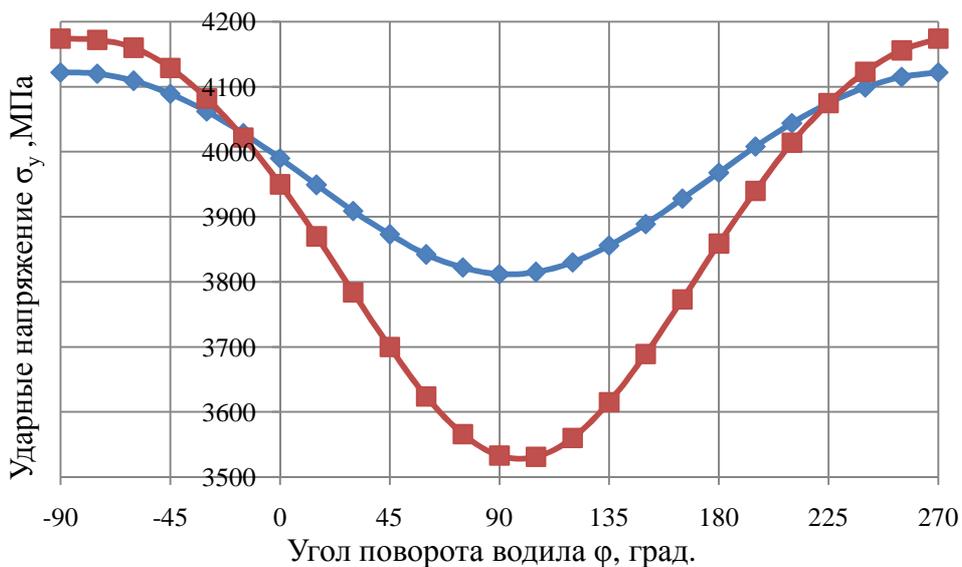
где  $h$  – глубина проникновения мелющего тела сферической формы в измельчаемый материал, м.

Глубину проникновения можно определить по формуле:

$$h = \left( \frac{15 \cdot m_1 \cdot m_2 (v_1 - v_2)^2 \cdot \sqrt{r_1 + r_2}}{16(m_1 + m_2) \cdot \sqrt{r_1 \cdot r_2}} \right)^{2/5} \cdot \left( \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)^{2/5}, \quad (7)$$

где  $v_1, v_2$  – скорость мелющего тела и материала соответственно, м/с.

Предложенный алгоритм расчета ударных напряжений был реализован для всех восьми положений размольного барабана (рисунок 1).



**Рисунок 1– Изменение ударных напряжений**

Расчетные зависимости (рисунок 1) показывают, что ударные напряжения значительно выше сжимающих и в несколько раз превышают предел прочности материала при таком виде нагружения. Некоторое снижение ударных напряжений при  $\varphi = 90^\circ$  объясняется уменьшением воздействия на траекторию падения мелющего тела переносной инерционной силы, направленной горизонтально вдоль водила.

Методика расчета истирающего воздействия, основанного на аналогии процессов шлифования, предложена Ходаковым [5]. Согласно ей мелющее тело за счет силы давления внедряется в материал на глубину  $h$  и под действием тангенциального усилия срезает слой материала.

Глубина проникновения мелющего тела в частицу материала согласно с теорией Герца определялась по формуле:

$$h = \left[ \frac{3 \cdot F(1 - \mu_2^2)}{4 \cdot E_2} \right]^{2/3} \cdot r_2^{-1/3}, \quad (8)$$

Расчеты для истирающих напряжений проводились для всех восьми положений размольного барабана. В результате было получено, что истирающее напряжение колеблется в пределах  $\tau = 3190 \div 3192$  МПа и является достаточным для разрушения стекла.

Таким образом в работе сделана попытка увязать механику движения мелющих тел с их разрушающим воздействием на измельчаемый материал. Показано, что разрушение материала (стекла) возможно только при ударном и истирающем воздействии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Вайтехович, П.Е. Интенсификация и моделирование процессов диспергирования в поле инерционных сил / П. Е. Вайтехович. – Минск: БГТУ, 2008. – 220 с.
2. Вайтехович, П.Е. Анализ моделей относительного движения мелющих тел в планетарной мельнице / П.Е. Вайтехович, Д.В. Семенов, Г.М. Хвесько // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганических веществ. – 2010. – Вып. XVIII. – С. 167–171.
3. Манжосов, В.К. Модели продольного удара / В.К. Манжосов. – Ульяновск: УлГТУ, 2006. – 160 с.
4. Шарапов, Р. Р. Научные основы создания технологических систем помола цемента на основе шаровых мельниц замкнутого цикла: авто-реф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.13 / Р. Р. Шарапов; Белгородский гос. технол. ун-т. – 2009. – 38 с.
5. Ходаков, Г. С. Механизм абразивного шлифования стекла / Г.С. Ходаков // Оптико-механическая пром-сть. – 1985. – № 5. – С. 31–36.

УДК 691.215.1:691.5:661.25

**ПЕРЕРАБОТКА ОТРАБОТАННОЙ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ  
ОАО «СВЕТЛОГОРСКХИМВОЛОКНО»  
НА СИНТЕТИЧЕСКИЙ ГИПС И ВЫСОКОПРОЧНОЕ  
ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ**

М.А. Комаров, М.И. Кузьменков, Н.Г. Короб, Д.М. Кузьменков  
Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

В Белорусском государственном технологическом университете в рамках заключенного с ОАО «СветлогорскХимволокно» хозяйственного договора проводятся исследования по разработке технологического процесса и выдаче исходных данных для проектирования производства синтетического гипса и переработку его на высокопрочное гипсовое вяжущее.

Гипсовые вяжущие и изделия на их основе являются малоэнергоемкими перспективными строительными материалами. При высоких потребительских свойствах (гигиеничность, огнестойкость, биостойкость, обеспечение благоприятного климата в помещении) они имеют не высокую стоимость по сравнению с другими строительными материалами.

В России в настоящее время доля гипсовых вяжущих составляет не более 5% в общем балансе минеральных вяжущих, а в Беларуси этот показатель ещё ниже – менее одного процента. В Германии доля гипсовых вяжущих в общем балансе минеральных вяжущих составляет 25–27 %, в США – около 20 % [1].

Номенклатура производимых гипсовых вяжущих в СНГ и в Беларуси весьма узкая – строительный гипс около 95 %, высокопрочный гипс – около 5 %. Доля ангидритового вяжущего незначительна, а многофазные (полиминеральные) вообще не производятся, хотя их количество во многих странах неуклонно растёт, достигнув в настоящее время около 30 %.

Из-за отсутствия в нашей республике необходимого объема выпуска гипсовых вяжущих потребность в указанных строительных материалах из них покрывается за счет импорта, что напрямую связано с состоянием сырьевой базы в Республике Беларусь, а именно отсутствием запасов природного гипса.

Все виды гипсовых вяжущих (строительного, высокопрочного и ангидритового) получают в основном из следующих гипсосодержащих материалов – природного гипса, техногенных продуктов (сульфогипса, фосфогипса, борогипса, титаногипса, цитрогипса и др.) или синтетического гипса.

Исходя из этого, вся потребность в природном гипсовом камне в Беларуси удовлетворяется исключительно за счет импорта из Украины, Молдовы, России.

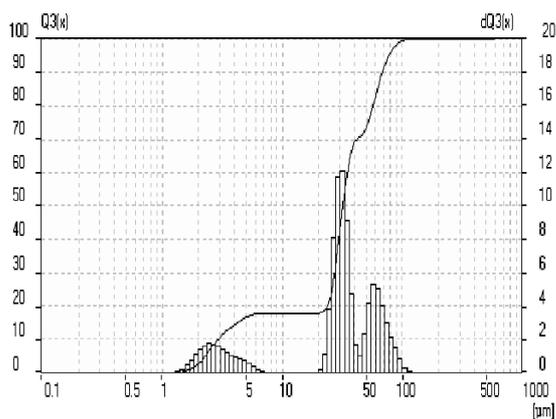
Основным достоинством природного гипсового сырья является относительно низкая стоимость его подготовки к технологическим переделам. Однако качество гипсового камня определяется не только содержанием основного вещества –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , но и количеством и вещественным составом минеральных примесей, которые неизбежно оказывают влияние не только на процесс дегидратации, но и на свойства целевых продуктов.

В технологическом цикле производства жаростойкого волокна Арселон на ОАО «СветлогорскХимволокно» ежегодно образуется около 7 000 тонн (в пересчете на 100 %) разбавленной 52–55 % серной кислоты. В настоящее время с целью ее утилизации производят нейтрализацию плавсодой, а затем сбрасывают в реку Березина.

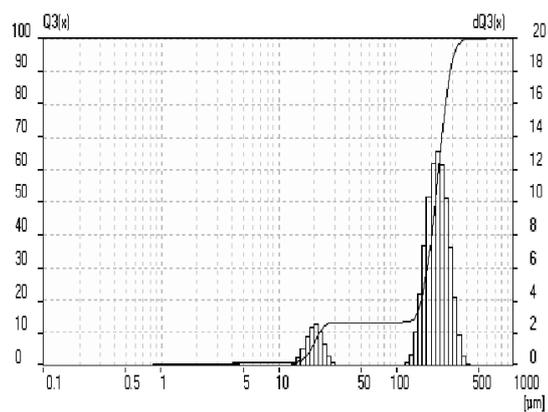
Наличие в РБ высококачественного карбонатного сырья является предпосылкой выбора их в качестве сырья для получения синтетического дигидрата сульфата кальция, который может быть получен из меловой суспензии и отработанной 52–53 % серной кислоты. Такое направление в гипсовой промышленности является сравнительно новым и поэтому детально не разработанным.

Образцы синтетического гипса были получены путем взаимодействия серной кислоты с меловой суспензией. Далее полученная суспензия синтетического гипса выдерживалась для создания условий дальнейшего роста кристаллов  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и после этого отправлялась на фильтрацию для отделения полученных кристаллов от маточного раствора.

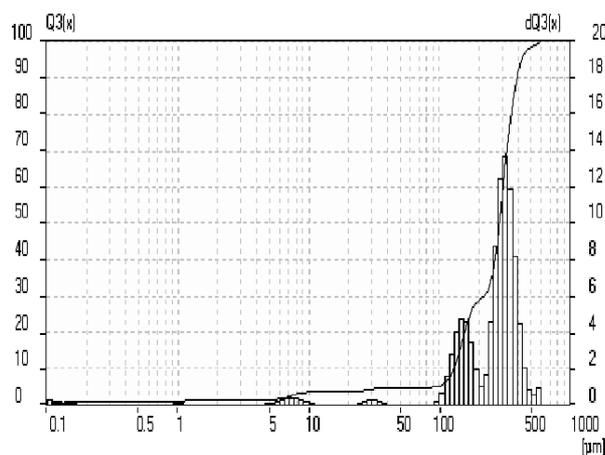
Проведенными исследованиями установлено, что эффективность отделения осадка от маточника зависит от многих факторов, а именно: от размера частиц, образующихся от срастания отдельных кристаллов  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , длительности выдержки полученной суспензии синтетического гипса, а также качества воды, используемой для приготовления меловой суспензии. Системные исследования, проведенные на лазерном гранулометре, позволили установить, что на очищенной речной воде размер получаемых частиц синтетического  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  лежит в диапазоне 20–100 мкм; на артезианской воде – 95% получаемых частиц лежит в диапазоне 100–500 мкм; на дистиллированной воде – 25% в диапазоне 10–100 мкм и 75% в 100–200 мкм.



**Рисунок 1 – Гранулограмма синтетического гипса, полученного на очищенной речной воде**



**Рисунок 2 – Гранулограмма синтетического гипса, полученного на артезианской воде**



**Рисунок 3 – Гранулограмма синтетического гипса, полученного на дистиллированной воде**

Полученные гранулограммы представлены на рисунках 1–3 соответственно. Более крупные частицы обуславливают наилучшую фильтрацию получаемой суспензии.

Из данных диаграмм видно, что при использовании речной воды частицы синтетического гипса получаются в 6-8 раз мельче, чем при использовании артезианской воды. Поскольку дисперсность синтетического гипса, полученного на речной воде, выше, чем дисперсность синтетического гипса, полученного на артезианской воде, можно сделать вывод о том, что растворенные в речной воде примеси, сорбируясь на поверхности синтетического гипса, препятствуют их агрегированию.

Получаемый синтетический гипс имеет в своем составе не менее 95 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , что соответствует природному гипсовому камню I сорта.

Наиболее перспективным видом гипсовых вяжущих, получаемых из синтетического гипса, является высокопрочный гипс, получаемый методом автоклавирования.

Выполненный цикл исследовательских работ по получению синтетического гипса и переработки его на  $\beta$ -полугидрат сульфата кальция (строительный гипс) показал принципиальную возможность организации производства этих строительных материалов в промышленном масштабе с использованием гипсоварочного котла непрерывного действия. Однако в связи с тем, что  $\alpha$ -модификация полугидрата сульфата кальция характеризуется более высокими прочностными показателями, а, следовательно, и более широкими возможностями применения (всегда можно разбавить менее качественным вяжущим, например, при производстве сухих строительных смесей), было принято решение выбрать целевым продуктом высокопрочное гипсовое вяжущее.

Это открывает более широкие перспективы с точки зрения его использования как в составе сухих строительных смесей, вместо закупаемых по импорту, так и при производстве гипсокартонных листов и другой строительной продукции.

По мнению ЗАО «Самарский гипсовый комбинат», лидера российского рынка высокопрочных сепарированных гипсовых вяжущих, именно высокопрочные гипсовые вяжущие являются лучшей основой для производства современных сухих строительных смесей [2]. Поскольку в рецептуру такой смеси требуется введение гораздо большего количества пластификаторов, обеспечивающих растекаемость, итоговая себестоимость смеси на «дешевом» строительном гипсе получится существенно выше.

Переработка отработанной серной кислоты на ОАО «СветлогорскХимволокно» будет складываться из следующих технологических переделов:

- разложение серной кислотой мела в реакторе;
- отделение осадка дигидрата сульфата кальция от маточника с получением осадка;
- брикетирование порошкообразного гипса;
- автоклавная обработка в автоклаве;
- обезвоживание брикетов после автоклавирования;
- помол брикетов;
- складирование.

Было проведено комплексное исследование физико-химических свойств синтетического гипса и гипсового вяжущего на его основе, а также наработаны экспериментальные партии базового

продукта – гипсового вяжущего, с использованием в качестве исходных материалов мела и отработанной 52–55% серной кислоты – отхода производства жаростойкого волокна «Арселон». Испытания проводились на ООО «Илмакс» и в БГТУ.

Гипсовое вяжущее, полученное по вышеописанному способу, характеризуется следующими сроками схватывания: начало 4–6 минут, окончание 10–11 минут, что подтверждает, что полученное вяжущее является быстротвердеющим и удовлетворяет требованиям нормативно-технической документации на высокопрочные гипсовые вяжущие. В случае необходимости регулирования сроков схватывания в более широком диапазоне времени могут быть применены добавки.

Полученное гипсовое вяжущее является вяжущим средней водостойкости с  $K_p = 0,49$ .

Экспериментальным путем, по диаметру расплыва теста, которое составило 177 мм, было установлено водогипсовое отношение для полученного гипсового вяжущего, которое составило 0,45, что соответствует требованиям ГОСТ 23789-79.

Проведенными исследованиями установлено, что свойства полученного высокопрочного гипсового вяжущего по разработанной технологии находятся на уровне зарубежных аналогов, используемых при производстве сухих строительных смесей и в составе самонивелиров. Марка получаемого высокопрочного гипсового вяжущего – Г10-Г22.

Уникальность предложенного технологического решения состоит в том, что в настоящее время технологии получения синтетического гипса из отработанной серной кислоты и перекристаллизации его в высокопрочное гипсовое вяжущее ни в Беларуси, ни в странах СНГ нет, что является отличительной особенностью, так как все производства по получению гипсовых вяжущих в этих странах базируются на природном гипсовом сырье.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменков, М.И. Переработка синтетического гипса на  $\alpha$ - $\text{CaSO}_4$  автоклавным способом / М.И. Кузьменков, Д.М. Кузьменков, Н.Г. Стародубенко // Труды БГТУ. – 2016. – № 3: Химия и технология неорганических веществ. – С.21–24.

2. Высокопрочные гипсовые вяжущие – лучшая основа для производства сухих строительных смесей / Самарский гипсовый комбинат // Строительные материалы. – 2013. – № 11. – С. 25.

УДК 667.621.226:047.31

**ВЛИЯНИЕ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА СВОЙСТВА  
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО  
МАТЕРИАЛА НА ЖИДКОМ СТЕКЛЕ**

Н.М. Шалухо, М.И. Кузьменков, Н.Г. Короб,  
Д.М. Кузьменков, А.В. Сушкевич

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Энергоэффективные строительные материалы кроме низкой теплопроводности должны характеризоваться экологической чистотой, негорючестью, низкой стоимостью [1–2]. Таким требованиям отвечают неорганические композиционные материалы на основе микрогетерогенных силикатов – пеносиликат, пеностекло, пенобетон, газосиликат [1]. Перспективным на сегодняшний день является производство теплоизоляционных материалов на основе вспененного жидкого стекла с различными наполнителями.

Целью данного исследования являлся выбор наполнителя для придания прочности и структурной жесткости теплоизоляционному материалу на основе вспененного жидкого стекла. Такие наполнители должны обладать высокой химической стойкостью, особенно в щелочных средах, низкой стоимостью, обеспечивать высокую прочность на сжатие, а также стабильность системы при схватывании. Последнее является важной особенностью, поскольку в результате проведенных предварительных экспериментов было установлено, что при отсутствии наполнителя образуются расслаивающиеся смеси уже после 10–20 мин выдержки.

В работе использовали жидкие натриевые стекла производства ОАО «Домановский производственно-торговый комбинат» с различными силикатными модулями.

В качестве наполнителя цемент, асбест, аэросил, мел, известь, минеральные волокна, перлит, силикатные микросферы. Асбестовое волокно использовали по ГОСТ 2850–95. Коротковолокнистый хризотил-асбест содержит в своем составе нанотрубки, придающие ему повышенную реакционную способность. Перлит использовали по ГОСТ 10832–91. Вспученный перлит – сыпучий, пористый, рыхлый, легкий, долговечный и огнестойкий материал. Обладает тепло- и звукоизолирующими свойствами, высокой впитывающей способностью, экологически чистый материал, не токсичен, не содержит тяжелых металлов.

Минеральные волокна применялись в виде стеклянного и базальтового волокна. Стеклянное волокно получают из расплавленного

боросиликатного стекла. Различают непрерывное стеклянное волокно – комплексные стеклянные нити длиной 20 км (и более), диаметром мононитей 3–50 мкм, и штапельное стеклянное волокно – длиной 1–50 см, диаметром волокон 0,1–20 мкм. Базальтовое волокно получают из базальта, путем плавления его при 1400 °С и преобразования расплава в волокна в центрифуге.

Кроме того, применяли портландцемент марки ПЦ500-Д20 по ГОСТ 31108–03; мел по ГОСТ 12085–88; известь строительную по ГОСТ 9179–77; аэросил по ГОСТ 14922–77; силикатные микросферы – полые микрошарики диаметром 2–120 мкм и толщиной стенки 2 мкм по ГОСТ Р53172–2008.

Введение наполнителей в жидкое стекло осуществляли перед введением пены при интенсивном перемешивании в течение 1 мин. Количеством наполнителя варьировали в пределах 10–20 % от массы жидкого стекла. В опытах с минеральными волокнами, мелом, перлитом наблюдалось сильное расслоение вспененного материала, что свидетельствует о низком армирующем действии указанных наполнителей и снижении продолжительности отверждения материала. При использовании извести наблюдалось слабое расслоение, но образцы характеризовались низкой прочностью. В образцах с аэросилом, асбестом, смесью асбеста и цемента расслоение отсутствовало. Результаты изучения свойств материалов, полученных на основе данных наполнителей, представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Зависимость свойств теплоизоляционного материала от вида наполнителя**

№ опыта	Вид наполнителя	Прочность образца, на сжатие, МПа	Плотность образца, г/см <sup>3</sup>
1	Минеральные волокна	–	Расслоение
2	Мел	–	Расслоение
3	Перлит	–	Расслоение
4	Известь	–	Расслоение
5	Аэросил (14%)	0,112	0,186
6	Аэросил (20%)	0,108	0,171
7	Асбест (20%)	0,221	0,315
8	Асбест (20%)+цемент (6%)	0,829	0,339
9	Асбест (20%)+цемент(10%)	0,520	0,326
10	Асбест (20%)+цемент(6% в пене)	0,406	0,283

Применение в качестве наполнителя аэросила приводит к образованию внешне однородных по структуре материалов. Однако, как видно из данных таблицы, образцы характеризуются низкой прочностью на сжатие. Таким образом, данный материал не может использоваться для создания конструктивно устойчивых строительных мате-

риалов. Кроме того, аэросил обладает относительно высокой стоимостью (около 12\$ за 1 кг), что также затрудняет использование данного соединения в качестве наполнителя.

Наилучшие результаты были получены при применении в качестве наполнителя асбеста, а также асбеста с цементом. Асбест, обладающая волокнистой структурой, способствует созданию армирующего каркаса в объеме материала. Введение цемента способствует быстрому схватыванию и формированию образцов с достаточно высокой прочностью, что не приводит к значительному увеличению плотности материала. Однако введение цемента одновременно с асбестом с последующим перемешиванием со стеклом приводит к преждевременному схватыванию массы материала, а введение цемента в состав пены обуславливает необходимость установки высокоинтенсивного смесителя для получения взвеси цемента в пенообразующем растворе.

Таким образом, несмотря на улучшение прочностных характеристик теплоизоляционного материала, введение цемента вызывает ряд технологических сложностей, что затрудняет его использование. Следовательно, исходя из анализа полученных результатов, для получения теплоизоляционного материала с комплексом заданных технических характеристик необходимо использовать в качестве наполнителя асбестовое волокно. Количество вводимого наполнителя, как и его вид существенно влияют на свойства получаемого материала.

В таблице 2 представлены данные о свойствах образцов, полученных при различном массовом соотношении асбест : жидкое стекло.

**Таблица 2 – Зависимость свойств теплоизоляционного материала от соотношения асбест : жидкое стекло**

Массовое соотношение асбест : жидкое стекло	Прочность, МПа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>
0,06 : 1	0,190	0,454
0,10 : 1	0,248	0,388
0,15 : 1	0,411	0,807
0,20 : 1	0,221	0,315

Как видно из данных табл. 2 повышение содержания асбеста в получаемом материале приводит к закономерному росту плотности образцов, однако необходимая плотность 250 г/дм<sup>3</sup> обеспечивается введением асбеста на уровне не более 10 % от массы жидкого стекла. Определение статической прочности таких образцов показало, что максимальная прочность достигается при введении 6 % асбеста от массы жидкого стекла. Уменьшение этого соотношения приводит к получению хрупких образцов, а при отсутствии асбеста в композиции

наблюдается сильное расслоение суспензии через 5–15 мин после вспенивания и перемешивания. В данных экспериментах проводилось предварительное смешение асбеста с водой при массовом соотношении асбест : вода равном 1 : 1,2–1,5. Такая операция приводит к набуханию волокон асбеста, уменьшению их длины, что в свою очередь способствует более легкому диспергированию наполнителя в жидком стекле на последующих стадиях изготовления вспененного материала. При введении сухого асбеста после смешения с жидким стеклом и пеной в смеси содержится значительное количество комков асбестной массы, плохо перемешанной в суспензии. Это приводит к значительному снижению армирующего действия наполнителя, неоднородности и падению прочности получаемого материала. При массовом соотношении асбест : жидкое стекло 0,15:1 наблюдалось сильное расслоение суспензии через 30 мин после смешения. Снижение содержания асбеста в суспензии приводило к уменьшению расслоения, однако прочность полученных материалов была существенно ниже, чем прочность образцов на основе предварительно смоченного водой асбеста. Кроме того, при увеличении содержания асбеста выше 10 % от массы жидкого стекла затрудняется диспергирование асбеста в смеси и увеличивается продолжительность смешения.

Таким образом, установлено влияние вида наполнителя на его свойства (прочность, плотность) в составе композиционного теплоизоляционного материала на жидком стекле. Наиболее эффективным в качестве наполнителя в теплоизоляционном материале следует считать асбестовое волокно, смоченное предварительно водой в концентрации не более 10% от массы жидкого стекла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Заболоцкая, А.В. Технология и физико-химические свойства пористых композиционных материалов на основе жидкого стекла и природных силикатов // Автореферат... канд. техн. наук, Томск – 2003. – 21 с.
2. Голубчиков, О.А. Строительные теплоизоляционные материалы / О.А. Голубчиков // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2010. – № 4 (24). – С. 72–77.

УДК 621.311

**ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ПЕЧНЫХ АГРЕГАТАХ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ  
ТОПЛИВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

М.И. Кузьменков<sup>1</sup>, О.Г. Мартинов<sup>2</sup>, Н.Г. Короб<sup>1</sup>,  
В.К. Судиловский<sup>3</sup>, Д.М. Кузьменков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный технологический университет», г. Минск;

<sup>2</sup>ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси»;

<sup>3</sup>ООО «Ресурсоэнергосберегающие системы, оборудование, технологии»,  
г. Минск

**Введение.**

При производстве многих видов строительных материалов одной из самых важных технологических операций является термообработка сырьевых смесей из исходных компонентов и промежуточных продуктов по заданному температурно-временному режиму. Ввиду того, что производство многих видов строительных материалов является весьма многотоннажным, энергоемкость становится определяющим фактором их конкурентоспособности. Снижение энергоемкости и проведение энергосберегающих мероприятий на предприятиях, производящих строительные материалы, в настоящее время является одной из актуальных проблем, требующих неотложного решения.

Особую актуальность в этой области занимают перспективы применения новых способов и источников нагрева. Однако их применение требует от персонала дополнительных знаний и компетенции для успешного решения поставленной задачи. Нельзя забывать, что главным определяющим требованием является собственно сам технологический режим, в том числе требуемый температурно-временной. И это требование, как показывает практика, не является тривиальным. Качество выпускаемой продукции определяется в значительной мере температурно-временным режимом.

Как известно, объем потребляемой энергии будет определяться только количеством выпускаемой продукции. Естественно, экономия энергии недопустима за счет снижения температурных параметров процесса термообработки. Выбор способов нагрева и энергоисточников, отвечающих жестким параметрам температурно-временных режимов, является весьма актуальной задачей.

**Важнейшие энергетические проблемы в производстве строительных материалов.**

Сырьевая база Республики Беларусь достаточна для производства большинства строительных материалов, необходимых для нужд

как Республики, так и для их экспортных поставок. К сожалению, в силу значительной энергоемкости производства строительных материалов (известь, цемент, стекло) конкурентоспособность отечественной продукции находится в граничном состоянии не только в ближайшем зарубежье, но и на внутреннем рынке. Причем ситуация будет только ухудшаться по ряду причин. Во-первых, у зарубежных конкурентов осуществляется масштабная модернизация производства, а во-вторых, базовые энергоносители, используемые в технологиях производства строительных материалов (природный газ, уголь, нефть) в Беларуси являются импортируемыми. Поставщик природного газа – Россия. В связи со вступлением России в ВТО и принятыми ею обязательствами, внутренние цены достигнут в ближайшие 5–7 лет мирового уровня. Такое положение распространяется и на РБ.

Однако, следует обратить внимание на то, что по этим же причинам ряд зарубежных разработчиков в странах с ограниченным запасом природных энергоресурсов предпринял попытки по использованию в качестве энергоносителя при производстве строительных материалов твердые бытовые отходы (ТБО), именуемые в зарубежной литературе RDF (refuse derived fuel).

Годовой энергетический потенциал образующихся в Беларуси твердых бытовых отходов (ТБО), рассчитанный на основании данных Белстата, составляет примерно 1 334 тыс. т усл. топл. [1]. Также на основании данных Белстата, потребление энергоресурсов на производство строительных материалов в целом достигает почти 1565,1 тыс. т усл. топл. [2]. Из них в структуре обобщенных энергозатрат потребление котельно-печного топлива в эквиваленте составляет 1388,7 тыс. т усл. топл.

В общем объеме потребляемого топлива расходы на производство цемента составляют 37,6%, извести – 10,7%, стекла – 9,4, плитки керамической – 4,6, кирпича керамического – 4,6%. Таким образом, на производство этих пяти видов стройматериалов затрачивается 66,9% всех потребляемых в Беларуси топливных энергоресурсов или 929 тыс. т усл. топл. Из сопоставления этих данных отчетливо формируется вывод о возможности полного энергообеспечения производства самых энергоемких строительных материалов за счет использования ТБО в качестве топлива.

#### **Пути использования альтернативных видов топлива в печах для производства строительных материалов.**

По одному из способов производства цементная печь отапливается продуктами сгорания газообразного (природный газ) или жидкого топлива. Продукты сгорания образуются в специальном горелоч-

ном устройстве. Далее эти продукты сгорания как тепловой агент с соответствующей температурой направляются в печь для выполнения своей функции.

По другим способам производства энергоноситель направляется непосредственно в печь, где подвергается сжиганию в присутствии обжигаемого материала. В этих вариантах обычно используются твердые энергоносители, например, каменный уголь, торф или альтернативные виды энергоносителей, такие как твердые бытовые отходы или изношенные автомобильные шины.

Альтернативные виды энергоносителей, такие как бытовые отходы, с целью улучшения их качества дорабатываются до уровня RDF, в состав которого входят высококалорийные компоненты отходов – пластик, бумага, картон, текстиль, резина, кожа, дерево и пр.

К сожалению, по ряду причин нагрев печей путем прямого сжигания в них твердых видов топлива не позволяет получать стабильно качественную продукцию. Это связано с тем, что процесс горения представляет собой химическую цепную реакцию, для поддержания которой требуется высокая концентрация горючей компоненты в каждой элементарной микроячейке. При затруднении обмена ячеек иницирующими радикалами при наличии балласта, в качестве которого выступает обрабатываемый материал, не обеспечивается полнота сгорания топлива, не достигается номинальная температура горения и, что еще хуже всего, образуются закисные формы химических соединений, формирующие совокупность крайне опасных продуктов сгорания (дымовых газов) вплоть до цианидов [2].

Кроме того, нестабильный состав топливных компонентов при их прямом сжигании в печном агрегате приводит к потере качества продукции, что зачастую проявляется при использовании ее в производстве сборного или монолитного железобетона [3].

Важно иметь в виду, что при производстве строительных материалов в печных агрегатах более существенным является высокий уровень температур, а не большой объем подводимой энергии.

Производство строительных материалов связано с использованием высоких температур для получения требуемого минералогического состава и структуры материала с высокими физико-техническими свойствами. Например, при варке стекла температура достигает 1500 °С и выше, при обжиге цементного клинкера – 1450 °С, извести – 1100–1200 °С, керамического кирпича – 1000–1100 °С и т. д.. Для осуществления процесса с требуемой интенсивностью и, следовательно, с заданной производительностью оборудования, необходим и соответствующий температурный напор со стороны теплового агента,

нагреваемого обрабатываемый материал. Во вращающихся цементных печах температура продуктов сгорания, подаваемых в объём печи, составляет около 1850 °С.

При прямом сжигании ТБО, как и автомобильных шин для того, чтобы обеспечивать полноту реакции их горения, подача воздуха требуется с большим избытком. Коэффициент избытка воздуха, равный 1,5, самое крайне минимальное значение, обеспечивающее еще терпимый недожег топлива. Но теоретическая температура горения будет на уровне всего лишь около 1500 °С. Для сравнения следует указать, что у природного газа при коэффициенте избытка воздуха 1,05 обеспечивается и полное сгорание топлива при минимальных количествах вредных компонентов в продуктах сгорания, и температура горения на уровне 1960 °С, что делает его самым предпочтительным топливом для производства строительных материалов.

Одним из путей энергосбережения в производстве портландцементного клинкера является использование синтез-газа, получаемого путем высокотемпературной конверсии природного газа с получением водорода и СО, эксергия которых на 26% выше, чем у исходного метана. Поскольку конверсия является эндотермическим процессом, то в качестве источника теплоты может использоваться выгружаемый из вращающейся печи в холодильник цементный клинкер, имеющий температуру 1100–1200 °С, вполне достаточную для подавления эндотермии реакции конверсии метана. Этот путь, с нашей точки зрения, является весьма привлекательным, однако он находится в настоящее время на стадии опытно-промышленной апробации.

Анализ вышеприведенных способов сжигания топлива в печных агрегатах в промышленности строительных материалов свидетельствует об их разнообразии с одной стороны, а с другой, об очевидном их несовершенстве. Это служит основанием проведения поиска новых вариантов сжигания топлива в печах производства цемента, извести и других строительных материалов. При этом главная цель должна состоять в лучшей экономической привлекательности в вновь разрабатываемых способах.

#### **Предлагаемая технология.**

Выпуск качественной продукции при использовании твердых низкокачественных энергоносителей (торфа, твердых бытовых отходов или вырабатываемого из них RDF топлива, а также изношенных автомобильных шин) возможен только при осуществлении их двухстадийного сжигания в специальных аппаратах, называемых газогенераторами. В газогенераторе на первой стадии из твердого топлива получается генераторный газ, а затем только на второй стадии этот газ до-

жигается с получением качественного экологически приемлемого высокотемпературного теплоагента, направляемого на обогрев печи. Таким образом, при использовании альтернативных низкокачественных энергоносителей в роли эффективного источника нагрева печи будет выступать газогенератор.

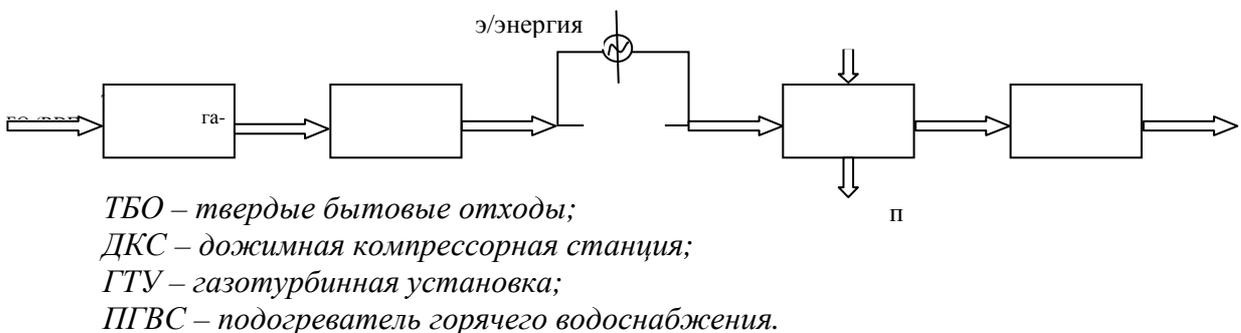
Некоторые отечественные разработки газогенераторных систем описаны в [1, 4, 5].

Рядом предприятий стройматериалов предприняты серьезные меры по снижению энергоемкости производства и себестоимости продукции путем применения когенерационных установок с генерацией собственной дешевой электроэнергии (в 2,5–3 раза ниже тарифы на электроэнергию).

Это относится к первой очереди Белорусского цементного завода, где две газотурбинные установки электрической мощностью по 16 МВт каждая уже длительное время эксплуатируются в режиме подачи уходящих газов турбины с температурой 460-480<sup>0</sup>С на сушку цементно-сырьевой муки (достигнуто снижение энергоемкости цемента около 20% и ее себестоимости до 25%).

Три газо-поршневых агрегата электрической мощностью по 1,4 МВт каждый применяются на термических печах ОАО «Керамика» (г. Витебск) с подачей в них отработанных горячих газов. По два газо-поршневых агрегата электрической мощностью по 1,2 МВт каждый в таком же режиме используются на ОАО «Минский завод строительных материалов». Газовая турбина электрической мощностью 3,5 МВт встроена по уходящим газам в технологическую цепочку производства продукции на ОАО «Минский комбинат силикатных изделий». Газовые турбины в режиме сушки цементно-сырьевой муки использованы китайской корпорацией на всех трех цементных заводах на новых технологических линиях с производством по 1,6 млн. т цемента в год.

Схема энергетических потоков по предлагаемой технологии обогрева печи с выработкой к тому же электрической энергии приведена на следующем рисунке.



**Рисунок – Схема энергетических потоков**

**Заключение.** Реализация такой технологии позволит промышленному предприятию производить как строительные материалы, так и электроэнергию, используя только собственные национальные ресурсы (сырьевые природные и возобновляемые энергетические).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мохамед Мусбах. Табиб, Али М. Элмансури, Журавский Г.И., Мартинов О.Г. Термическая утилизация твердых бытовых отходов. Ж.-л «Энергетика и топливно-энергетический комплекс», № 2 (131). 2014. С.20 – 23.

2. Журавский Г.И, Мартинов О.Г. Твердые бытовые отходы в качестве энергетических ресурсов при производстве строительных материалов. Ж.-л «Энергоэффективность», начало в № 5 (199). 2014. С. 26 – 31, окончание в № 6 (200). 2014. С. 22 – 26.

3. Кузьменков М. И., Хотянович О. Е., Мельникова Р. Я., Сушкевич А. В. Влияние продуктов сгорания изношенных автомобильных покрышек на качество цемента и бетона // Цемент и его применение. – 2012. – № 11–12. – С.34–38.

4. Журавский Г.И., Градов А.С., Лисай Н.К., Мартинов О.Г., Сусеков Е.С., Шаранда Н.С. Газогенераторные технологии утилизации горючих технологических и коммунальных отходов. В сб.: Тепло- и массоперенос – 2012 . Минск: ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси, 2012. С. 159 – 164.

5. Журавский Г.И., Мартинов О.Г., Полесский Д.Э., Шаранда Н.С. Газогенераторные технологии для промышленности строительных материалов. Ж.-л «Энергетика и топливно-энергетический комплекс», № 11/12 (128/129). 2013. – С.16 –18.

УДК 666.972.53

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА**

М.И. Кузьменков, Н.Г. Короб, Д.М. Кузьменков,  
А.В. Сушкевич, Н.М. Шалухо

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Промышленность строительных материалов находится на третьем месте после теплоэнергетики и транспорта по потреблению энергоресурсов. Первое место по энергопотреблению в строительном комплексе занимает цементная промышленность, на которую приходится примерно 62% потребляемой тепловой и электрической энергии. Од-

ним из важнейших направлений, стоящей перед цементной промышленностью в мире, является минимизация содержания клинкера в цементах, а также максимальное вовлечение техногенных продуктов в его производство.

Таким техногенным продуктом является электросталеплавильный шлак – отход, образующийся на ОАО «Белорусский металлургический завод». В настоящее время накопилось около 4,5 млн. тонн электросталеплавильного шлака, причем ежегодное накопление этого шлака находится на уровне 400 млн. тонн. В процессе хранения происходит его рассыпание с образованием пылевидной фракции, которая разносится по сельскохозяйственным угодьям.

Одним из компонентов цементной сырьевой смеси является железосодержащий – железная руда, пиритные огарки (отход цехов по производству серной кислоты из серного колчедана), железная окалина и др. Многие из указанных железосодержащих продуктов завозятся на цементные заводы Беларуси по импорту.

В отличие от доменного гранулированного шлака, широко используемого в цементной промышленности, сталелитейные шлаки, вследствие существенного отличия их вещественного состава, используются в настоящее время в значительно меньших объемах. Принимая во внимание, что сталелитейные шлаки на разных заводах имеют различный фазовый состав, это диктует необходимость проведения системного исследования по изучению характера твердофазового взаимодействия в процессе его обжига при получении цементного клинкера. Поскольку в составе электросталеплавильного шлака присутствуют оксиды, способные образовывать легкоплавкие эвтектики, есть основания полагать, что это будет способствовать образованию клинкерного расплава при более низких температурах, что в свою очередь интенсифицирует процессы, протекающие в системах «твердое-жидкость» и снизит расход тепловой энергии на этот процесс.

Сведения об использовании электросталеплавильного шлака ОАО «БМЗ» в качестве железосодержащего компонента цементной сырьевой смеси в литературе отсутствуют, что явилось побудительной мотивацией для проведения поисковых исследований в этом направлении.

Исследования проводили с использованием сырьевой муки ОАО «Белорусский цементный завод» и электросталеплавильного шлака ОАО «Белорусский металлургический завод», составы которых приведены в таблицах 1 и 2.

Проведенные поисковые исследования показали экономическую целесообразность использования электросталеплавильного шлака в качестве железосодержащего компонента при производстве цементного клинкера.

**Таблица 1 – Химический состав сырьевой муки ОАО «БЦЗ»**

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Прочее
Высокий мергель	5,65	1,44	0,72	39,25	0,62	0,13	0,28	31,05	0,02
Низкий мергель	4,63	1,14	0,46	4,39	0,24	0,07	0,18	4,06	0,01
Железная руда	0,8	0,09	1,4	0,02	0	0,04	0,01	0,04	0,01
Кварцевый песок	2,91	0,14	0,04	0,06	0,03	0	0,05	0,03	0
Состав сырьевой смеси в %	13,99	2,81	2,62	43,72	0,89	0,24	0,52	35,18	0,03

**Таблица 2 – Химический состав электросталеплавильного шлака ОАО «БМЗ»**

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Прочее
Высокий мергель	17,67	5,52	28,27	32,82	6,84	1,23	0,61	1,44	0,12

Экономический эффект от использования электросталеплавильного шлака вместо импортного железосодержащего сырья будет достигнут за счет его меньшей стоимости и частичной замены карбоната кальция, входящего в состав сырьевой смеси.

Так, при полной замене необходимого количества Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в составе сырьевой муки, для введения оксида железа в сырьевую смесь с электросталеплавильным шлаком, содержащем Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в среднем 19 %, требуется около 9% шлака от массы сырьевой смеси, что составит около 0,126 тонны шлака для производства 1 т клинкера. Самой энергозатратной стадией при обжиге цементного клинкера является разложение карбоната кальция, на что затрачивается 96% расходуемой тепловой энергии. За счет введения шлака сокращается расход карбонатного компонента, а, следовательно, снижается расход топлива на обжиг клинкера.

Кроме того, за счет образования более легкоплавких эвтектик процесс клинкерообразования активизируется, что позволяет снизить температуру обжига клинкера на  $50^{\circ}\text{C}$ , что явится дополнительной статьей экономии топливно-энергетических ресурсов. Предварительные расчеты показали, что экономия будет находиться в пределах 0,5–1\$ на каждой тонне цемента.

Проведенные в 2016 г. на двух цементных предприятиях, входящих в Белорусскую цементную компанию, испытания в вышеуказанном направлении в целом дали положительный результат. В то же время был выявлен ряд задач, для решения которых требуется проведение дополнительных научных исследований.

Реализация данного технического решения на цементных заводах Республики Беларусь позволит предотвратить дальнейшее накопление шлака в Жлобинском регионе, а также снизить выброс в атмосферу парникового газа (углекислоты), что в совокупности обеспечит также еще и значительный экологический эффект.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сушкевич А.В. Проявление метастабильного парагенезиса при твердофазовом взаимодействии в системе  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ . А.В.Сушкевич, М.И. Кузьменков, Н.М. Шалухо, Т.Н. Манак // Труды БГТУ. – 2012. –№3: Химия и технология неорган. в-в. –С. 51–56.

УДК 666.768

#### **ЖАРОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ ХОЛОДНОГО ОТВЕРЖДЕНИЯ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

М.И. Кузьменков, Н.Г. Короб, С.А. Лыщик, Д.М. Кузьменков,  
Н.М. Шалухо, А.В. Сушкевич

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Основными потребителями огнеупорных материалов в Республике Беларусь являются предприятия по производству строительных материалов, металлургические и машиностроительные заводы. Кампания печных агрегатов (пробег от холодного до холодного ремонта) зависит, прежде всего, от огнеупорности футеровочных материалов и их термостойкости. Как правило, эти два важнейших эксплуатационных свойства редко сочетаются в одном материале. Так, хромитопериклазовый и периклазохромитовый огнеупоры, используемые во вращающихся цементных и известковых печах, обладают высокой огнеупорностью (не ниже  $1750^{\circ}\text{C}$ ), однако из-за низкой термостойкости (число циклов термоциклирования менее 3) срок службы футеровки

не превышает одного года. В нагревательных печах на машиностроительных предприятиях срок службы шамотной футеровки также не продолжителен из-за низкой ее термостойкости.

Существенным недостатком применяемых в настоящее время для футеровки печных агрегатов огнеупорных материалов является их плохие теплоизоляционные свойства, обусловленные высокой плотностью, поэтому потери теплоты из печных агрегатов, к примеру в цементной вращающейся печи составляет до 15–20%. С целью снижения указанных потерь предпринимаются попытки применения различных материалов, укладываемых между стальной обечайкой печного агрегата и огнеупорной. Например, на цементной печи производительностью 55 т/час и расходом условного топлива 205 кг/т в год потери тепла в окружающую среду в денежном выражении составляют около 1,2 млн. дол. США.

Кроме того, все виды огнеупорных материалов, потребляемых в Республике Беларусь, поступают по импорту в количестве примерно 10 тыс. тонн в год. Стоимость их находится в пределах 200–800 дол. США за тонну.

В советские времена все предприятия, потребляющие указанные огнеупорные материалы, обязаны были после их службы в печных агрегатах в виде лома отправлять на огнеупорные заводы России и Украины для вторичной переработки. В настоящее время такой сервис отсутствует. Пришедший в негодность огнеупорный материал печных агрегатов во время холодных ремонтов удаляется и, как правило, отправляется на полигоны для складирования твердых отходов. Во время холодного ремонта одного печного агрегата (вращающейся печи для производства цементного клинкера), замене подлежит порядка 600 т периклазохромитовых огнеупоров. Это вызывает дополнительные расходы на предприятиях на уплату налога за складирование твердых отходов. Кроме того, отработанный огнеупор, содержащий оксиды хрома (в том числе шестивалентного), представляет собой экологическую опасность вследствие их экстрагирования из отходов и попадания в грунтовые воды.

Учитывая многотоннажность отработанных (вторичных) огнеупоров и вышеназванные проблемы, актуальным является решение этой проблемы путем их переработки на огнеупорные материалы, поскольку в Беларуси производство штучных огнеупоров не налажено ввиду отсутствия соответствующего сырья. При этом наиболее перспективным направлением в решении этой проблемы является разработка огнеупорных материалов, в которых будут сочетаться два важнейших эксплуатационных свойства – огнеупорность и термостой-

кость, с повышенными теплоизоляционными качествами. Отсутствие на рынке материалов с таким сочетанием свойств открывает перспективу производителю таких материалов занять эту нишу.

Наиболее ответственным компонентом в огнеупорных материалах является связующее – алюмосиликатное, жидкостекольное, фосфатное и др. Для создания огнеупорных материалов, характеризующихся высокой термостойкостью, наиболее подходящим связующим, как это следует из наших ранее выполненных исследований, а также согласно мнению других авторов, являются фосфатные связки (ортофосфорная кислота, олигофосфорные кислоты, водные растворы фосфатов алюминия и хрома и др.). Это обусловлено особенностью твердения композитов на основе фосфатных связок, при котором частицы кислотных оксидов соединены между собой водородной связью с образованием мостика ОН–О, придающей «эластичность» материалу в процессе теплосмен.

Ранее в БГТУ был выполнен цикл исследовательских работ, направленных на создание физико-химических основ получения огнеупорных материалов на фосфатных связующих и разработана технология получения огнеупорных бетонов на основе отходов кожевенного производства, обладающие повышенной термостойкостью [1–2].

В настоящее время нами проводятся исследования по разработке штучных жаростойких огнеупорных изделий с повышенными теплоизоляционными свойствами, которые представляет собой композит, состоящий из фосфатной связки и наполнителя, получаемого из вторичного огнеупора. Фосфатная связка в свою очередь состоит из фосфорной кислоты, тонкодисперсного отвердителя, содержащего оксид магния, обеспечивающий холодное отверждение. Для придания структуры с пониженной плотностью (повышенной пористостью) дополнительно вводится добавка, вызывающая поризацию композиционного материала.

Отличительной особенностью этого огнеупорного кирпича будет являться его низкая пористость, что не позволяет использовать для кладки традиционные кладочные растворы (мертели).

На ЧПУП «БелХимос» (г. Лепель, Витебская обл.) планируется организации промышленного производства по переработке огнеупорного лома и других отходов предприятий по производству строительных материалов на штучные безобжиговые изделия. Это позволит сократить их импорт и решить экологическую проблему, связанную со складированием отходов на полигонах. Объем вторичных огнеупоров (огнеупорный лом) только на предприятиях строительных материалов составляет 1000 т/год. Следовательно, из указанного количества лома

может быть произведен огнеупор, который по своим физико-химическим и термическим свойствам будет превосходить шамот.

Реализация данного технического решения позволит сократить импортные закупки огнеупорного материала, снизить экологическую нагрузку за счет ликвидации необходимости складирования хромосодержащего огнеупорного лома, создать новые рабочие места.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьменков, М.И. Композиции на фосфатных связующих холодного отверждения. М.И. Кузьменков, С.В. Плышевский, И.В. Бычек, Н.Г. Стародубенко // Труды БГТУ. Сер. III, Химия и технология неорганич.в-в. – 2002. – Вып. X. – С. 194–196.

2. Бычек, И.В. Получение огнеупорного бетона на фосфатном связующем из техногенных продуктов // И.В. Бычек, М.И. Кузьменков, О.А. Капитанова / Ресурсо- и энергосберегающие технологии в химической промышленности и производстве строительных материалов: Материалы межд. Науч.-технич. конф., Минск, 9-10 нояб. 2000 г. С. 198–201.

УДК 666.942.2:666.9.015.224

#### **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КЛИНКЕРООБРАЗОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ СОЛЕЙ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ**

М.И. Кузьменков, Н.Г. Короб, Е.А. Свистун, М.К. Анкуда,  
А.В. Сушкевич, Н.М. Шалухо

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Одной из важнейших научно-технических задач, стоящих перед цементной промышленностью, является снижение топливно-энергетических затрат на производство цемента, поскольку это статья на сегодня является преобладающей. Эта задача решается по нескольким направлениям, одним из которых является ревизия модульных характеристик сырьевой смеси, но это направление на будущее.

Наиболее эффективным может явиться использование минерализаторов. Эта идея хорошо известна, и те заводы, которые располагают такой возможностью, эффективно ее используют.

На ОАО «Красносельскстройматериалы» два года тому назад были проведены промышленные испытания по использованию плавикового шпата в качестве минерализатора. При дозировке его в количестве 0,7 мас. % было достигнуто при одной и той же температуре увеличение выпуска клинкера – вместо проектных 55 т в час было выпущено на 2 т в час больше.

В Беларуси природного полевого шпата, как известно, нет, но перспективным продуктом может явиться так называемый шлам станции нейтрализации ОАО «Гомельский химический завод». В настоящее время этот шлам складывается на заводской площадке и накопился в количестве несколько сот тысяч тонн, что создает серьезную экологическую нагрузку в регионе.

Под действием атмосферных осадков проникновение загрязненных вод уже достигло 25 метровой глубины, а с 40-ка метровой глубины идет водозабор питьевой воды для города Гомеля. Чтобы не допустить проникновения загрязненных вод на глубину водозабора, производят откачивание воды из 25 метровой глубины.

Исследована возможность использования шлама станции нейтрализации ОАО «Гомельский химический завод» в качестве минерализатора при производстве портландцементного клинкера.

На указанном предприятии имеется 3 вида кислых стоков: из цеха сернокислотного, цеха фосфорной кислоты и из цеха фторсолей.

Ранее было проведено тестирование всех трёх шламов в качестве минерализаторов обжига цементного клинкера при различных температурах [1]. Исследования проводились на сырьевой муке ОАО «Белорусский цементный завод». Оценку минерализующего действия проводили по содержанию свободного оксида кальция в обожженном материале этилглицератным методом. Было установлено, что все указанные шламы показывают высокое усвоение оксида кальция при минимальной температуре обжига, что говорит о целесообразности их использования в цементной промышленности в качестве минерализаторов. При различных температурах обжига данные минерализаторы можно расположить в следующем порядке их эффективности: шлам цеха фторсолей > шлам цеха сернокислотного > шлам цеха фосфорной кислоты.

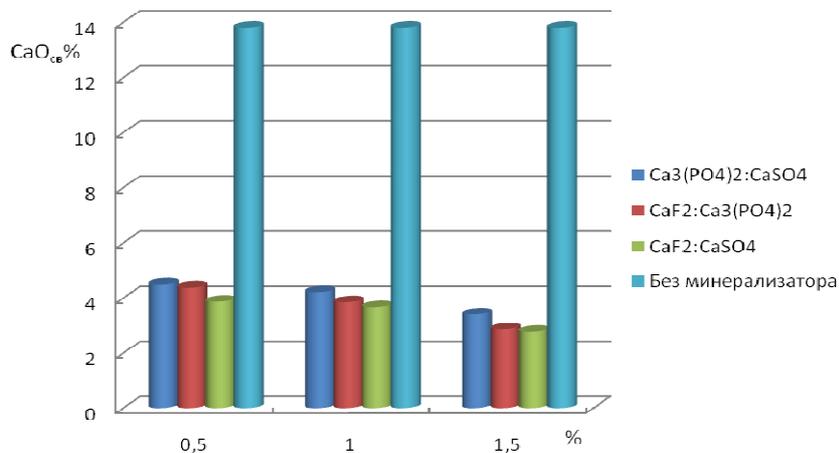
Согласно данным проведенного рентгенофазового анализа, шлам цеха фтористых солей представлен обильным содержанием фтористых компонентов, чем и вызвана его хорошая минерализующая способность.

Следующим этапом явилось проведение системных исследований по изучению интенсифицирующего действия минерализаторов на твердофазное взаимодействие в системе  $\text{CaCO}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O} - \text{Fe}_2\text{O}_3$ . Были изучены как индивидуальные солевые минерализаторы, так и бинарные минерализующие смеси  $\text{CaF}_2 - \text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2 - \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaSO}_4 - \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .

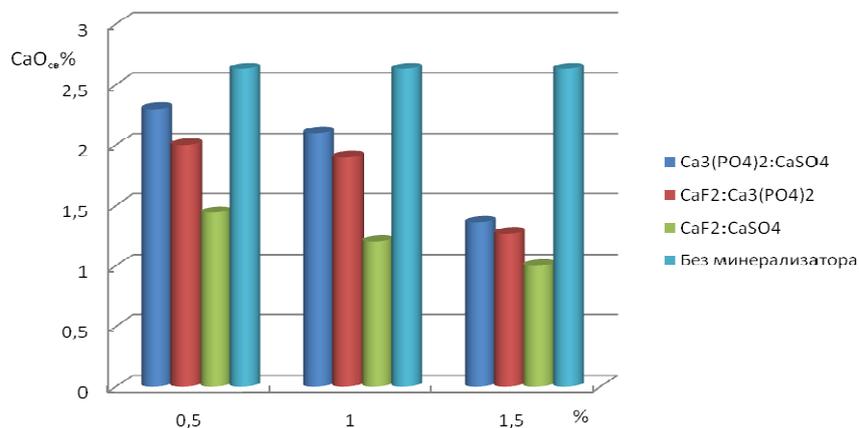
Как следует из представленных на рисунке данных, все соли оказывают заметное минерализующее действие на процесс клинкерооб-

разования. По эффективности действия бинарные солевые минерализаторы можно расположить в следующем порядке:  $\text{CaF}_2 + \text{CaSO}_4 \gg \text{CaF}_2 + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 > \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$ .

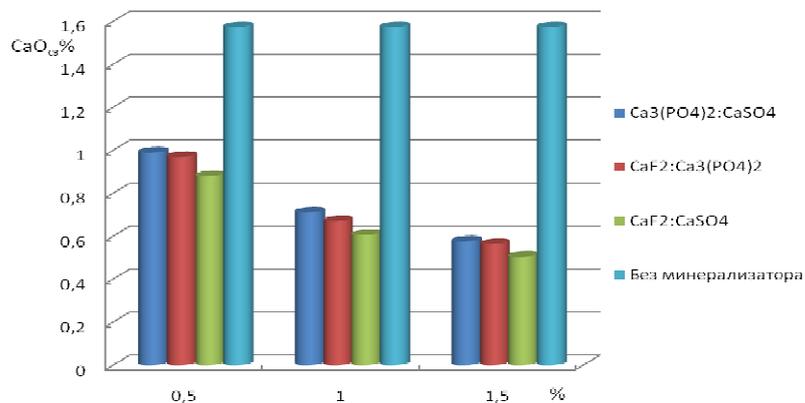
а)



б)



в)



**Рисунок – Влияние количества введенных бинарных солевых минерализаторов на содержание свободного оксида кальция в клинкерах, обожженных при температурах: а – 1300°C, б – 1350°C, в – 1300°C**

В системе  $\text{CaF}_2 + \text{CaSO}_4$  образуется легкоплавкая эвтектика при температуре около  $950^\circ\text{C}$ , что позволяет значительно ускорить процессы клинкерообразования. Установлено, что эффективность действия смешанных минерализаторов значительно превосходит эффективность воздействия каждого компонента в отдельности. На приведенных гистограммах видно, что при использовании минерализатора количество усвоенного оксида кальция выше.

Суть действия минерализаторов сводится к следующему:

1) при наличии их в сырьевой смеси образование жидкой фазы происходит при значительно более низких температурах, в связи с этим кристаллизация главных клинкерных минералов происходит намного раньше и значительно быстрее;

2) ускорительное действие минерализующей добавки, фторсодержащей в частности, обусловлена тем, что с появлением эвтектического расплава кремнекислородные цепочки  $\text{Si-O-Si}$  деполимеризуются за счет вхождения фтора вместо мостикового кислорода. Это делает силикатный расплав менее вязким, что в свою очередь обеспечивает лучшую смачиваемость расплавом твердой фазы и обеспечит более быстрое протекание реакции в системе твердое–жидкость.

Подводя итоги исследования всех трёх шламов, можно утверждать, что использование совместных шламов является лучшим минерализатором для получения портландцементного клинкера.

Согласно стандарту СТБ ЕН 197-1-2007, содержание свободной извести в цементе не должно превышать 5%. При использовании общего шлама солей этот показатель находится на уровне 1,5% при температуре обжига  $1300^\circ\text{C}$ , что говорит о целесообразности его использования для обжига цементно-сырьевой смеси.

Результаты исследований могут быть использованы на ОАО «Белорусский цементный завод» и ОАО «Красносельскстройматериалы» для интенсификации процессов обжига в производстве цементного клинкера. ОАО «Гомельский химический завод» выражает готовность поставлять шлам станции нейтрализации на цементные предприятия Беларуси, для чего необходимо осуществить реконструкцию и решить вопрос замены барабанных вакуумных фильтров на центрифуги с целью снижения влажности шлама с 63% до не более 5%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ситько, М.К. Исследование влияния минерализаторов на процесс обжига портландцементного клинкера / М.К. Ситько, Н.Г. Стародубенко // Труды БГТУ. – 2016. – №3 : Химия и технология неорган. в-в. – С. 106 – 110.

УДК 658.567.1:624.01.04

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Г. Н. Дьякова, Е. И. Кордикова, А. В. Спиглазов

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

Эволюция в сфере строительных технологий и производства новых материалов стимулирует строителей и проектировщиков быть более разносторонними, принимать смелые и неординарные решения. На производствах образуются тонны отходов, которые, чаще всего, вывозятся на полигоны. Многие страны постепенно увеличивают долю перерабатываемых отходов во вторсырье, модернизируя технологии и обновляя нормативную базу[1].

Наиболее рациональным направлением утилизации промышленных отходов является их использование как техногенного сырья при получении различного вида продукции строительного назначения. На основе применения отходов промышленности возможно развитие производства не только традиционных, но и новых эффективных строительных материалов. Новые материалы обладают комплексом улучшенных технических свойств и, в то же время, характеризуются наименьшей ресурсоемкостью как в процессе производства, так и при применении [2].

Вторично используют различные виды промышленных отходов, которые представляют собой всевозможные материалы.

Пластиковые отходы дробятся, плавятся и перемешиваются, из полученной массы различными методами изготавливают такие изделия строительного назначения, как черепица, брусчатка, тротуарная и фасадная плитка и стеновые панели. Изменение эксплуатационных свойств изделий из вторичных полимеров возможно при использовании в их составе неплавкого, более твердого и жесткого компонента. В качестве такового предлагается использовать отходы кожевенных предприятий, в частности, кожевенные отходы после дубления.

Отходы wet-blue – это наполовину готовая кожа, которую называют сырой, ее не высушивают до конца, а лишь немного отжимают. Показатель влажности отходов wet-blue по литературным источникам составляет 16–40 % [2]. Отходы имеют голубой цвет, что связано с технологией хромового дубления, и толщину 0,7–1 мм. Такие отходы имеют высокую термостойкость и износостойкость, а после сушки – повышенную жесткость. В качестве наполнителя для лучшего смешения с полимерным материалом используют стружку кожевенных отходов, образующуюся в технологическом процессе, которую не под-

вергали дополнительному измельчению или сортировке. Материал имеет широкое распределение размеров длин частиц – от десятых долей мм до 33 см, и практически одинаковую ширину – 0,3 см. Показатели прочности при растяжении на базе 10 мм составляют 6,9 МПа с коэффициентом вариации 2,9 %.

В качестве термопластичного полимерного материала для композиций строительного назначения чаще всего применяют вторичный полипропилен. В своих исследованиях мы использовали вторичный агломерированный полипропилен, средний размер агломератов которого составляет 10–15 мм. По результатам исследований были получены следующие свойства вторичного полипропилена: плотность – 0,95 г / см<sup>3</sup>, ПТР – 1,5–20,0 г / 10 мин, прочность при изгибе – 78,6 МПа.

Для изготовления формованных изделий на основе различного вида отходов с термопластичным связующим наиболее эффективной является технология прессования предварительно пластицированной заготовки в охлаждаемой оснастке (метод пласт-формования). Процесс включает в себя подготовку исходного сырья (измельчение, сушка), дозированную загрузку смеси в червячный экструдер, пластикацию этой же смеси в экструдере, накопление дозы пластицированного материала, формирование из него заготовки, перемещение заготовки в охлаждаемую пресс-форму и прессование изделия.

При выборе и задании технологических режимов пластикации и прессования необходимо учитывать особенности состава и структуры композиции. Исходя из свойств компонентов, предотвращения возможной деструкции кожевенных отходов, обеспечения плавления полимерного материала, а также хорошей гомогенизации смеси в материальном цилиндре и получения плотного материала после прессования, были выбраны следующие технологические режимы:

- температура по зонам экструдера – 180°C, 200°C, 220°C;
- время накопления дозы – 11 мин (при их содержании 30 %) и 14 мин (при 50%);
- время, затраченное на перемещение материала от накопителя в форму и смыкание плит – 4 сек;
- усилие прессования – 4 т;
- время выдержки в форме до достижения в материале температуры стеклования – 2 мин.

Указанные технологические параметры позволяют получить качественные образцы без нагаров, изменения внешнего вида поверхности и полностью отформованные.

Из полученных плит механически вырезались образцы и подвергались испытаниям в соответствии с требованиями различных

стандартов для композиционных материалов: – определение плотности плоских образцов – по ГОСТ 15139–69, определение прочности при срезе – по ГОСТ 17302–71, определение прочности при изгибе – по ГОСТ 4648–71, определение коэффициента температуропроводности – по ГОСТ 23630.3–79.

Материал с содержанием наполнителя 30 % масс имеет слоистую структуру на срезе. Плотность составляет в среднем  $1,1 \text{ г / см}^3$ , прочность при изгибе – 25 МПа, прочность при срезе – 32 МПа, коэффициент температуропроводности –  $8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 / \text{с}$ . Упорядоченная волокнистая структура материала создается за счет использования измельченных кожевенных отходов. Чем более мелкие фракции используются, тем однороднее получаемый материал. При увеличении содержания кожевенных отходов до 50% масс реологические свойства и формуемость ухудшаются.

На основании полученных данных предварительно оценены области возможного применения композиционных материалов, получаемые из отходов wet-blue и вторичного полипропилена. Это изделия, которые эксплуатируются при ограниченном воздействии климатических и атмосферных факторов, в частности, в нежилых (производственных, складских или подсобных) помещениях при наличии вентиляции, под землей, а также изделия неотвественного назначения, эксплуатируемые в открытой среде.

К таким изделиям можно отнести, например, плитки для полов, перегородки и щиты различного назначения в нежилых помещениях и на улице, плоские элементы опалубки, детали теплоизоляции труб, размещенных под землей, в траншеях, в производственных и подвальных помещениях, тепло- и шумоизоляционные материалы, а так же такие изделия как технологическая тара, контейнеры для транспортирования материалов и изделий, поддоны для выращивания травы (газонов) и рассады, малые архитектурные формы, компостные и иные емкости для дачных участков [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Использование отходов строительства в качестве вторичного сырья // Ipit, URL:<http://ipit.ooo/ru/the-use-of-waste-in-construction> (дата обращения 20.09.2017)
2. Справочник кожевника. (Отделка. Контроль производства) / В. П. Баблюян [и др.] // Под редакцией Балберовой Н.А. / Москва: Легпромбытиздат, 1987. – 256 с.
3. Основы технологии отделочных, тепло- и гидроизоляционных материалов / В. Д. Глуховский [и др.]. / Киев: Будівельник, 1986. – 320 с.

УДК 665.637.8

## **НОВЫЕ ПОДХОДЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ**

А.О. Шрубок, О.В. Куис, А.И. Юсевич, Е.И. Грушова

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

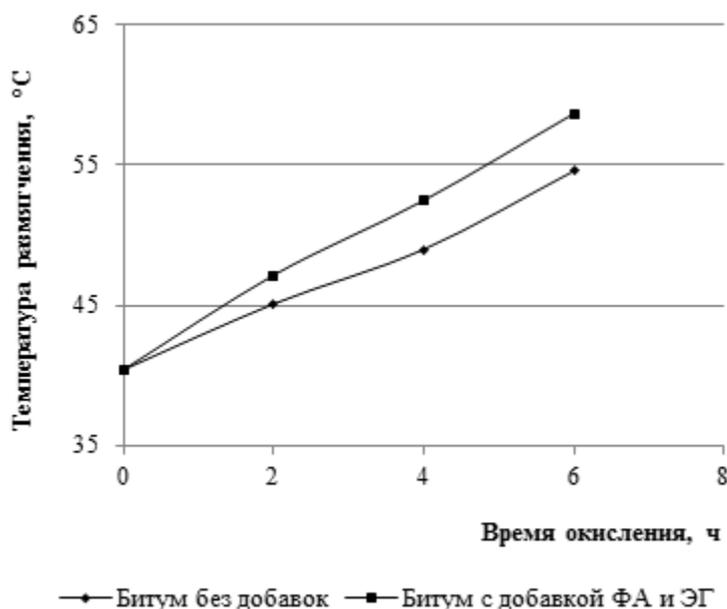
Нарушение технологии укладки дорожных покрытий, увеличение количества транспортных средств на дорогах общего пользования, движение транспортных средств с превышением разрешенной массы приводит к быстрому снижению потребительских свойств автомобильных дорог под воздействием транспортных нагрузок, что обуславливает необходимость разработки технологий, позволяющих увеличить долговечность дорожного покрытия.

Современные тенденции развития технологии в области дорожного строительства связаны с разработкой новых битумно-полимерных материалов, обладающих повышенными прочностными и эксплуатационными свойствами. Использование новых современных битумных материалов позволяет увеличить надежности и сроки службы дорожных покрытий, в ряде случаев снизить стоимость дорожного полотна, повысить экологическую безопасность за счет сокращения отходов производства.

Наиболее перспективным и экономически целесообразным направлением представляется использование добавок к исходному нефтяному сырью, поскольку реагент-модификатор позволяет регулировать структуру и групповой состав исходной нефтяной системы, используемой для получения окисленных битумов. Применение модификаторов не требует существенных изменений в аппаратном оформлении процесса, при этом себестоимость может быть снижена за счет сокращения энергетических и временных затрат на их производство.

В ранних исследованиях было показано, что эффективными модификаторами для получения качественных битумных вяжущих являются смолы пиролиза бурых сланцев, позволяющие снизить вязкость в 1,2–2,0 раза и температура хрупкости на 9–12°C, увеличить пенетрацию в 1,2–1,6 раза и термоокислительную стабильность [1], изопропиловый спирт, позволяющий улучшить групповой состав и увеличить адгезию битумного вяжущего с минеральным материалом [2], тяжелая нефтяная смола, циклогексанол, позволяющие интенсифицировать процесс окисления нефтяного гудрона в битум и улучшить технико-экономические показатели процесса [3, 4].

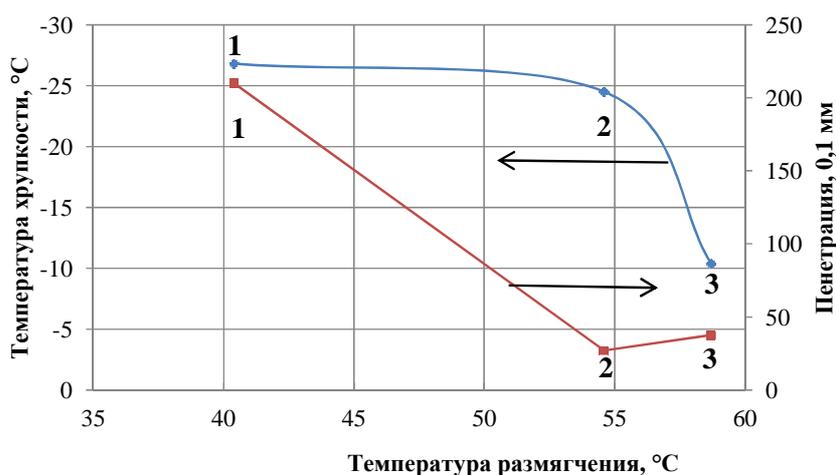
В данной работе впервые в качестве реагентов-модификаторов предложено использовать добавки, которые в условиях окисления могут участвовать в реакциях поликонденсации и полимеризации как между собой, так и с компонентами нефтяного сырья. Роль указанных реагентов-модификаторов выполняли фталевый ангидрид (ФА) и этиленгликоль (ЭГ). В качестве сырья применяли асфальт деасфальтизата производства ОАО «Нафтан» (г. Новополоцк). Окисление проводили при температуре 245°C в течение 6 часов. Изменение температуры размягчения в процессе окисления представлены на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Изменение температуры размягчения в процессе окисления асфальта деасфальтизации**

Пенетрация и температура хрупкости полученных образцов битумных вяжущих представлены на рисунке 2.

Из полученных данных видно, что введение в структуру битумного вяжущего бифункциональных мономеров ФА и ЭГ увеличивает значение пенетрации с 27 до 37,7 мм. Показатель пенетрации, который в какой-то мере характеризует эластичность битумного вяжущего, является параметром, определяющим устойчивость битумного вяжущего и изделий на его основе к механическим нагрузкам. Следовательно, можно ожидать, что при повышенных температурах качество модифицированного битумного вяжущего, как вяжущего для асфальтобетонных, будет превосходить немодифицированный.



**Рисунок 2 – Зависимость температуры хрупкости и пенетрации от температуры размягчения битумного вяжущего:**

1 – асфальт деасфальтизации; 2 – битум без добавок;  
3 – битум с добавкой ФА и ЭГ

Также важными эксплуатационными характеристиками битумных вяжущих являются температуры размягчения и хрупкости, которые определяют их тепло- и хладостойкость. В данном случае добавки ФА и ЭГ способствуют возрастанию температуры размягчения от 54,6 до 58,7°C, но при этом увеличивается температура хрупкости. По видимому, наблюдаемый эффект обусловлен малым содержанием в исходном сырье мальтенов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шрубко, А. О. Модификаторы сырья процесса окисления на основе жидких продуктов пиролиза / А. О. Шрубко // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – № 3. – С. 149–151.
2. Влияние аддитивов-модификаторов гудрона на адгезионную способность окисленных битумов к минеральным материалам / Е. И. Грушова [и др.] // Труды БГТУ. – 2016. – № 4. – С. 43–47.
3. Смола пиролиза как модификатор нефтяного сырья процесса окисления / А. О. Шрубко [и др.] // Природопользование – 2013. – Вып. 23. – С. 216–221.
4. Пахомчик, А. С. Окисление нефтяного гудрона совместно с полимерными отходами в присутствии инициатора / А. С. Пахомчик, А. В. Полешко // 68-я науч.-техн. конф. студентов и магистрантов : сб. науч. работ, Минск, 17–22 апр. 2017 г./ Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2017. – Ч. 2. – С. 68–71.

УДК 691.3

## **ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ**

Г.С. Гарнашевич, А.Г. Губская, В.В. Лоско, А.В. Лоско,  
Ж.Н. Власенко, Н.С. Ясинская

Государственное предприятие «Институт НИИСМ», г. Минск

Республика Беларусь в настоящее время является мировым лидером по производству ячеистого бетона автоклавного твердения, представляющего собой систему, которая отвечает основным современным требованиям к строительным стеновым материалам по теплозащитным свойствам. Несмотря на огромное количество исследовательских работ, посвященных процессу управления структурообразованием, морозостойкости, трещиностойкости при влагообменных и карбонизационных процессах, использованию различного рода добавок, аспектам эксплуатационной надежности, теплофизическим свойствам, ячеистый бетон автоклавного твердения и до настоящего времени является предметом постоянных исследований. По теплофизическим свойствам ячеистый бетон отвечает всем требованиям действующих в настоящее время ТНПА, в строительном комплексе Республики Беларусь занимает одно из ведущих мест, широко применяется не только в массовом строительстве, но и при возведении уникальных сооружений [1–2]. Ячеистый бетон автоклавного твердения по комфортности зданий на его основе (по двадцати бальной шкале) занимает 3-е место после дерева и кирпича керамического, занимающих соответственно 1-е и 2-е места.

Ячеистый бетон автоклавного твердения обладает высокой стойкостью к сверхнизким температурам, что подтверждается результатами исследований образцов ячеистого бетона автоклавного твердения плотностью  $700,0\text{--}600,0\text{ кг/м}^3$  производства основных предприятий Республики Беларусь [3], а его эксплуатационная стойкость и долговечность убедительно представлена на примере группы отапливаемых зданий, построенных в Риге в 1939 г. из ячеистого бетона без устройства наружной защитно-декоративной отделки. За прошедшие десятилетия до настоящего времени признаки разрушения бетона в конструкциях зданий не появлялись (рисунок) [4, 5].

Отвечая современным требованиям к строительным материалам по теплозащитным и эксплуатационным свойствам, ячеистый бетон обуславливает достаточно высокую культуру производства строительных работ и условий эксплуатации.



**Рисунок – Здание из ячеистого бетона автоклавного твердения без наружной отделки (1939 г., г. Рига, ул. Эльвирас, 15)**

По всей вероятности, высокая нормированная эксплуатационная влажность ячеистого бетона автоклавного твердения в сочетании с низкой культурой производства строительных работ обусловила в свое время негативное отношение к ячеистому бетону со стороны как проектных, так и строительных организаций, хотя известно, что прямое попадание влаги в конструктивные элементы из любого строительного материала приводит к различного рода разрушениям.

В связи с создавшимся положением в вопросе эксплуатационной влажности ячеистого бетона автоклавного твердения Государственным предприятием «Институт НИИСМ» был выполнен комплекс многолетних как лабораторных, так и натуральных исследований по определению значений величины эксплуатационной влажности.

На основании полученных результатов комплекса лабораторных и натуральных исследований по определению величин эксплуатационной влажности было разработано и утверждено приказом Минстройархитектуры № 374 от 29.08.1997 г. Изменение № 1, установившее для ячеистого бетона плотностью  $700\text{--}300\text{ кг/м}^3$  величину эксплуатационной влажности 4,0 % для условий эксплуатации А и 5,0 % для условий эксплуатации Б по массе.

После введения с 01.07.2009 г. повышенных требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций ячеистый бетон автоклавного твердения остался практически единственным строительным материалом, который автономно обеспечивает выполнение нормативных требований строительной теплотехники, а для Республики Беларусь при наличии сырьевой базы и развитого производства, оснащенного современным технологическим оборудованием, ячеистый бетон автоклавного твердения является стратегическим материалом.

В настоящее время в Республике Беларусь наружные ограждающие конструкции зданий и сооружений различного функционального назначения изготавливаются в том числе и из ячеистого бетона, а их фасады, как правило, отделываются различными защитно-декоративными покрытиями с использованием сухих строительных смесей и композиций защитно-отделочных строительных, включающих как полимерные, так и полимерминеральные добавки, и материалов лакокрасочных фасадных. В этой связи во второй раз в Республике Беларусь сложилась негативная ситуация для ячеистого бетона, но уже в плане обеспечения эксплуатационной надежности и долговечности стеновых ограждений жилых домов (особенно малоэтажных) с несущими и самонесущими стеновыми конструкциями из ячеистого бетона автоклавного твердения, фасады которых отделаны защитно-декоративными покрытиями с использованием полимерных и полимерминеральных добавок.

В результате выполненных отдельных обследований стен из ячеистого бетона автоклавного твердения, отделанных защитно-декоративными покрытиями с использованием сухих строительных смесей были обнаружены существенные дефекты, требующие проведения комплекса различного рода восстановительных мероприятий, в том числе и усиления конструкций.

Ячеистый бетон наряду с низкой теплопроводностью обладает достаточно высокой паропроницаемостью (ТКП 45-2.04-43-2006, обязательное приложение 1, таблица А.1). Однако в указанном документе отсутствуют требования к смесям с полимерными и полимерминеральными добавками. В соответствии с требованиями СТБ 1307-2012 п.5.3.9 паропроницаемость растворов должна соответствовать требованиям, приведенным в нормативно-технической или проектной документации и быть не менее  $0,02 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ , а величина паропроницаемости ячеистого бетона автоклавного твердения (плотность  $300,0\text{--}900,0 \text{ кг}/\text{м}^3$ ) в соответствии с требованиями ТКП 45-2.04-43-2006 составляет  $0,26\text{--}0,12 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ .

Несмотря на широкое применение ячеистого бетона в строительном комплексе Республики Беларусь вопрос защитно-декоративной отделки наружных ограждающих конструкций до настоящего времени не имеет конкретного решения. Одним из основных теплофизических показателей любого отделочного покрытия является паропроницаемость, отсутствие учета которого в абсолютном большинстве становится причиной различного рода разрушений.

При прочих равных условиях, для ячеистого бетона как декоративные, так и защитные покрытия должны выполнять две основные

функции: с одной стороны они должны препятствовать проникновению влаги любого агрегатного состояния во внутрь стенового ограждения; с другой стороны – не являться сдерживающим фактором для отдачи влаги наружными слоями ограждения в окружающую среду, обеспечивая конструкции требуемый тепловлажностный режим в процессе эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автоклавный ячеистый бетон, Москва: Стройиздат, 1981.
2. Н.П. Сажнев, В.Н. Гончарик, Г.С. Гарнашевич, Л.В. Соколовский – Производство ячеистобетонных изделий. Теория и практика.
3. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. М., 1992.– 86 с.
4. Г.Н. Гринфельд Инженерные решения обеспечения энергоэффективности зданий. Отделка кладки из автоклавного газобетона. Санкт-Петербург; Издательство Политехнического университета, 2011.
5. Руководство по отделке АЕРС/Г.Н. Гринфельд. Санкт-Петербург, 2012. – 40 с.

УДК 674.048

### **КОМПЛЕКСНОЕ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПАРКЕТНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Л. В. Игнатович, С. В. Шетько

Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

В настоящее время для Республики Беларусь большое значение имеет проблема комплексного и рационального использования древесины. Ежегодно в Белоруссию завозится около 2 млн. м<sup>3</sup> деловой древесины. В то же время общий объем отходов лесопильно-деревообрабатывающих и лесосечных предприятий достигает примерно 2,6 млн.м<sup>3</sup>. Образовавшийся дефицит можно покрыть за счет более полного использования отходов древесины, рационального применения низкосортной древесины, древесины мягких лиственных пород, увеличения сроков службы изделий.

Полезность продукции (изделий) определяется комплексом факторов: технологических, технических, экологических, социальных и др. Игнорирование этих факторов при создании новых видов изделий из древесины неизбежно влияет на востребованность и товарность. Поэтому, очевидным является то, что критерий востребованности

приобретает приоритетное значение и становится определяющим для развития деревообработки, в том числе в производстве столярно-строительных изделий, в частности - паркетных. Перед деревообрабатывающей промышленностью ставится задача постоянного обновления и расширения ассортимента изделий из древесины, в том числе организации производства высококачественных паркетных изделий, которые могли бы успешно конкурировать на мировом рынке. Выше сказанное предопределяет необходимость разработки новых видов изделий из древесины в частности паркетных.

Прогресс во многих отраслях народного хозяйства зависит от технологии, техники и применяемых материалов, что составляет основную материальную культуру общества. Резкое увеличение объемов жилищного строительства влечет за собой увеличение потребления и, следовательно, производства лесных материалов и изделий из древесины.

В настоящее время основной задачей деревообрабатывающей промышленности является рациональное и комплексное использование лесосырьевых ресурсов. Комплексное и рациональное использование древесины ведется на всех технологических операциях по ее переработке и включает: снижение отходов при переработке древесины; получение с максимальным выходом необходимого сортамента; уменьшение материалоемкости изделий из древесины; использование отходов производства, образующихся в процессе изготовления основной продукции, в качестве основного вторичного технологического сырья [1, 2].

Прогрессивность тех или иных материалов для покрытий полов определяется не только в сфере производства, но и в сферах потребления и эксплуатации. Эффективность взаимозаменяемых материалов для покрытий полов следует оценивать по конечной продукции с учетом полных затрат на всех стадиях производства и эксплуатации покрытий. Замена одного материала другим влечет за собой изменение части или всей конструкции пола, поэтому при оценке экономической значимости различных видов материалов необходимо сравнивать не материал с материалом, а конструкции пола в целом.

В связи с изменениями конъюнктуры рынка столярно-строительных изделий, в условиях конкуренции перед деревообрабатывающей промышленностью ставится задача постоянного обновления и расширения ассортимента изделий из древесины, а также организации производства высококачественных паркетных изделий, максимально соответствующих запросам и возможностям всех слоев населения, а также изделий, которые могли бы успешно конкурировать

на мировом рынке [1,2].

Разработаны новые конструкции и технология изготовления многослойных паркетных изделий (досок, щитов) с из шпона, дающих возможность уменьшить, расход дорогостоящих твердолиственных и ценных пород древесины в качестве лицевого слоя клееных паркетных изделий. Необходимость и значимость разработки паркетных изделий из шпона подтверждается основным направлением развития и модернизации деревообрабатывающих предприятий.

Существующие технологии производства многослойных паркетных изделий имеют некоторые недостатки. Основным из них является получение планок лицевого слоя (толщиной 6 мм) методом пиления, что снижает полезный выход планок из пиломатериалов до 20%. Кроме того, приклеивание к основанию относительно узких планок (20–45 мм), имеющих некоторые отклонения по толщине, затрудняет равномерную передачу давления на каждую планку, и в итоге, отдельные планки приклеиваются недостаточно прочно.

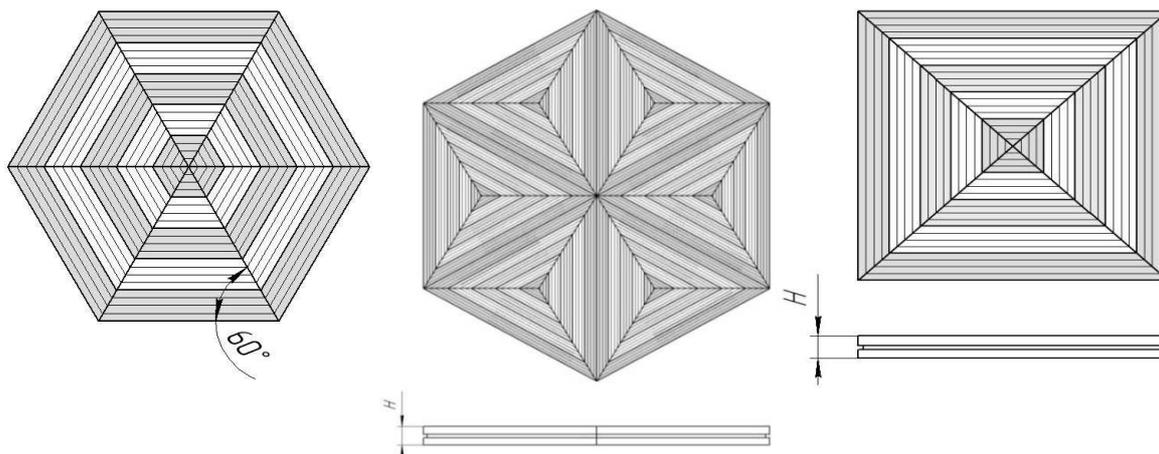
Предлагается конструкция и технология паркетных досок и щитов из шпона (неформатного шпона, шпона-рванины, а также шпона при оцилиндровке чураков). Технологический процесс заключается в следующем [3, 4].

Изготовленные из шпона, шпона-рванины, а также из отходов, полученных при оцилиндровке чурака, прямоугольные куски шпона, высушенные до влажности 6%, одной породы древесины, одного размера по длине и ширине с нанесенным клеем, укладывают на поддон для получения необходимой толщины слоя [3,4]. На этот слой таким же образом набирают следующий слой из шпона другой породы древесины (или другой окраски) для создания цветового (текстурного) отличия смежных слоев в щите. В таком же порядке набирают и последующие слои шпона для получения необходимой толщины пакета, определяемого конечными размерами и рисунком паркетного щита или доски.

Склеенные из делянок лушеного или строганого шпона в полноформатные по длине и ширине листы, распиливают на полосы, вдоль направления волокон древесины, шириной, в зависимости от рисунка получаемого изделия (например, 120, 145, 155, 160, 200, 300 мм) и толщиной, характеризующей величину слоя износа на истирание – 4–5 мм. Изменяя ширину полос при наборе лицевого слоя, породе древесины шпона, окраску, расположение полос по направлению волокон древесины, можно получать большую гамму рисунков лицевого слоя паркетных досок.

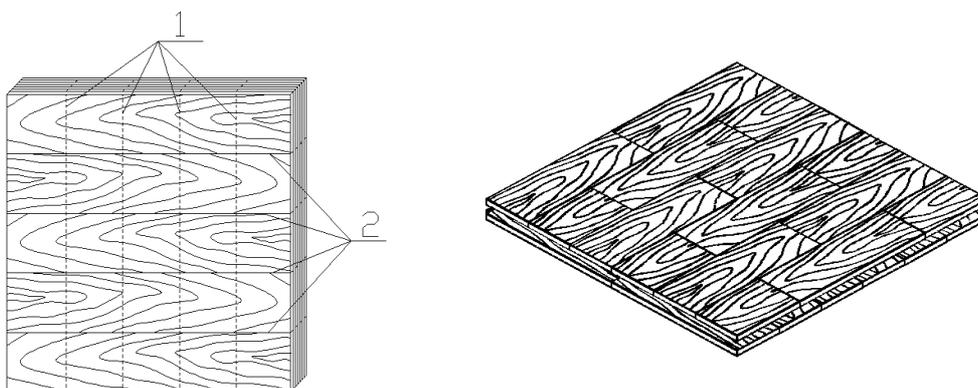
Слой шпона с нанесенным клеем набирают в пакет с учетом симметричности расположения листов шпона в отношении середины пакета, загружают в промежутки между плит пресса, склеивают по типовым технологическим режимам склеивания фанеры (фанерных плит) [3, 4].

На рисунке 1 показаны примеры конструктивных схем многослойных паркетных щитов из шпона [3].



**Рисунок 1 – Схемы паркетных щитов из шпона**

На рисунке 2 показаны примеры конструктивных схем многослойных паркетных досок из шпона [4].



**Рисунок 2 – Многослойная паркетная доска из шпона – фанерная плита с лицевым слоем в виде полос: 1 – направление расположения волокон древесины; 2 – места разреза плиты на заготовки**

Предложенные конструкции технология многослойных паркетных изделий из шпона может быть альтернативой широко распространенным в последнее время ламинированным паркетным покрыти-

ям на основе древесноволокнистых плит сухого способа производства высокой плотности. Существенным недостатком, которых можно считать небольшой срок эксплуатации (около 5–10 лет).

Предложенный способ изготовления многослойных паркетных досок из шпона является перспективным и имеет ряд преимуществ, которые заключаются в высоких потребительских качествах продукции, значительных снижениях трудозатрат, расхода сырья. Из фанерной плиты (фанеры) с минимальными затратами можно изготавливать паркетные изделия, что значительно сокращает затраты и расширяет область применения слоистых клееных изделий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатович, Л. В. Направление дизайна современных паркетных покрытий. / Л. В. Игнатович, С. В. Шетько, Л. Ю. Дубовская. //Труды БГТУ. Вып. XV. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. – Минск, 2007. – С. 158–161.

2. Игнатович Л. В. Технология многослойных паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины мягких лиственных пород / Л. В. Игнатович, С.С Утгоф, А. М. Бут-Гусаим // Труды БГТУ. 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. Пром-ть. – С. 114–119.

3. Способ изготовления паркетного щита из шпона: пат. 11601Р. Б. МКИ В 27 3/04 Е 04 F 15/ 04./ М.О. Невдах, Л.В. Игнатович, С.В. Лежень.заявл. 2006.05.18; опубл. 2005// Официальный бюл. / Изобретения. Полезные модели. – 2005. – Диск № 1.

4. Способ изготовления многослойных паркетных досок из шпона: пат. 15158 Р. Б. МКИ В 27 М 3/06 Е 04 F 15/ 022 / Л.В. Игнатович, Шишов А. В., Шетько С. В. заявл. 2009.07.02; опубл. 2011. 08. 11. // Официальный бюл. / Изобретения. Полезные модели. – 2011. – Диск № 1.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Левицкий И.А.</i> Нинель Мироновна Бобкова – ученый, педагог, изобретатель .....	5
<i>Бобкова Н.М., Трусова Е.Е.</i> Взаимосвязь составов и реологических свойств щелочеборосиликатных стекол и их способность к формированию полых стеклянных микросфер.....	9
<i>Клименко Н.Н., Михайленко Н.Ю., Чайникова А.С.</i> Энерго- и ресурсоэффективные высококремнеземистые щелочеактивированные материалы строительного назначения .....	13
<i>Губская А.Г., Вашкевич Т.А., Ушакова Н.И.</i> Обеспечение норм радиационной безопасности в строительном комплексе Республики Беларусь.....	16
<i>Каминская Р., Эйсинас А., Мечай А.А., Барановская Е.И.</i> Подготовка сульфатных компонентов из техногенного сырья для сульфатомоферритных цементов.....	20
<i>Белов И.А., Богданова Н.П., Бацевичус О.Г., Мечай А.А., Барановская Е.И.</i> Сравнительный анализ оценки качества ячеистых бетонов по европейским нормам и действующим техническим нормативным правовым актам в Республике Беларусь.....	24
<i>Цюпак М.А.</i> Проблемы расширения сырьевых баз для производства стройматериалов.....	28
<i>Павлова И.П., Беломесова К.Ю.</i> Экспериментальные исследования влияния расширяющейся добавки сульфаталюминатного типа на свойства торкрет – бетона.....	32
<i>Губская А.Г., Дегтярева Т.И., Гапотченко А.П.</i> Определение безопасного содержания аммиака в цементе и бетоне.....	35
<i>Губская А.Г., Гарнашевич Г.С., Горбач И.Н.</i> Новый теплоизоляционный материал на основе вспененного жидкого стекла и техногенных отходов .....	38
<i>Городнякова И.С., Чвириков П.В., Щербина Л.А., Коско Ю.Ф., Устинов К.Ю., Бондаренко В.А., Короткий А.Н., Бритов А.М.</i> Полиакрилонитрильные волокна – сырье для создания современных материалов, используемых в строительной индустрии.....	41
<i>Лейнова С.Л., Соколик Г.А., Свирицкий С.Ф., Рубинчик С.Я.</i> Контроль токсичности продуктов горения при оценке безопасности штукатурных и шпатлевочных смесей.....	45
<i>Левицкий И.А., Шиманская А.Н., Прыбыльский А.Д.</i> Полуфриттованные биоцидные глазури для керамогранита.....	49

<i>Кузьменкова О.Ф., Баранцева С.Е., Позняк А.И., Стрельцова Г.Д., Сергиевич О.А., Манкевич С.С., Поспелов А.В.</i> Базальтовые породы Республики Беларусь – перспективный вид минерального сырья силикатной промышленности.....	53
<i>Трофимов С.П., Горбачев Н.М.</i> Вопросы безопасности при производстве и использовании твердых измельченных растительных материалов .....	57
<i>Харитонович А.Г., Ходыко Д.В., Матюш И.А., Черикаев Д.П., Щербина Л.А.</i> Исследование синтеза волокнообразующих сополимеров акрилонитрила для получения прекурсоров углеродных волокнистых материалов.....	61
<i>Манакова Н.К., Суворова О.В., Макаров Д.В.</i> Пеностекольные материалы из горнопромышленных отходов Кольского полуострова .....	64
<i>Левицкий И.А., Шиманская А.Н., Ериш Е.А.</i> Металлизированные базальтсодержащие глазури для керамогранита.....	67
<i>Белов И.А., Богданова Н.П., Барановская Е.И., Попова М.В., Шяучюнас Р.</i> Свойства кальцийсульфоалюминатного (CSA) цемента на основе природного и техногенного сырья.....	71
<i>Павлюкевич Ю. Г., Папко Л. Ф.</i> Стекла с повышенным показателем преломления для дисперсных наполнителей .....	75
<i>Левицкий И.А., Шиманская А.Н. Циунель А.Ю.</i> Ангобные покрытия плиток для полов .....	78
<i>Вайтехович П.Е., Боровский Д. Н.</i> Снижение абразивного износа измельчающих агрегатов как одно из направлений ресурсосбережения .....	82
<i>Пырх Т.В., Щербина Л.А., Будкуте И.А., Можейко Ю.М.</i> О гомо- и сополиконденсации молочной и гликолевой кислот .....	86
<i>Чигринова Ж.П., Махленкова Л.Н., Якимчук Н.В.</i> Исследования составов масс для получения клинкерных керамических изделий низкотемпературного спекания .....	89
<i>Левицкий И.А., Хоружик О.Н.</i> Исследование процессов спекания полиминеральных глин с целью получения клинкерного кирпича....	93
<i>Сергиевич О.А., Дятлова Е.М., Попов Р.Ю.</i> Каолинитсодержащие породы Республики Беларусь – перспективный сырьевой материал керамической отрасли .....	97

<i>Левцкий И.А., Шиманская А.Н., Муравьев А.А.</i> Глазурные покрытия на основе стекол системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ .....	101
<i>Вайтехович П.Е., Боровский Д.Н.</i> Исследование эффективности разрушающего воздействия мелющих тел в горизонтальной планетарной мельнице.....	105
<i>Комаров М.А., Кузьменков М.И., Короб Н.Г., Кузьменков Д.М.</i> Переработка отработанной серной кислоты ОАО «Светлогорск-Химволокно» на синтетический гипс и высокопрочное гипсовое вяжущее.....	109
<i>Шалухо Н.М., Кузьменков М.И., Короб Н.Г., Кузьменков Д.М., Сушкевич А.В.</i> Влияние наполнителей на свойства теплоизоляционного материала на жидком стекле.....	114
<i>Кузьменков М.И., Мартинов О.Г., Короб Н.Г., Судиловский В.К., Кузьменков Д.М.</i> Энергосбережение в печных агрегатах с использованием альтернативных видов топлива для производства строительных материалов .....	118
<i>Кузьменков М.И., Короб Н.Г., Кузьменков Д.М., Сушкевич А.В., Шалухо Н.М.</i> Использование электросталеплавильного шлака для производства цементного клинкера .....	123
<i>Кузьменков М.И., Короб Н.Г., Лыщик С.А., Кузьменков Д.М., Шалухо Н.М., Сушкевич А.В.</i> Жаростойкие материалы холодного отверждения из техногенного сырья .....	126
<i>Кузьменков М.И., Короб Н.Г., Свистун Е.А., Анкуда М.К., Сушкевич А.В., Шалухо Н.М.</i> Интенсификация клинкерообразования с помощью солей техногенных продуктов.....	129
<i>Дьякова Г.Н., Кордикова Е.И., Спиглазов А.В.</i> Использование отходов производства в строительных конструкциях.....	133
<i>Шрубок А.О., Куис О.В., Юсевич А.И., Грушова Е.И.</i> Новые подходы в технологии получения композиционных битумных вяжущих.....	136
<i>Гарнашевич Г.С., Губская А.Г., Лоско В.В., Лоско А.В., Власенко Ж.Н., Ясинская Н.С.</i> Теплофизические и эксплуатационные свойства ячеистого бетона автоклавного твердения .....	139
<i>Игнатович Л.В., Шетько С.В.</i> Комплексное и рациональное использование древесины в производстве паркетных изделий.....	142

Научное издание

**Международная научно-техническая конференция  
«НАУКА И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ: СОСТОЯНИЕ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ»**

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

В авторской редакции

Ответственный за выпуск Е.О. Черник  
Компьютерная верстка С.Г. Олексиевич, Е.О. Черник, А.А. Левитская

Подписано в печать 15.11.2017. Формат 60×84 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 8,78. Уч.-изд. л. 9,06.

Тираж 50 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распро-  
странителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск