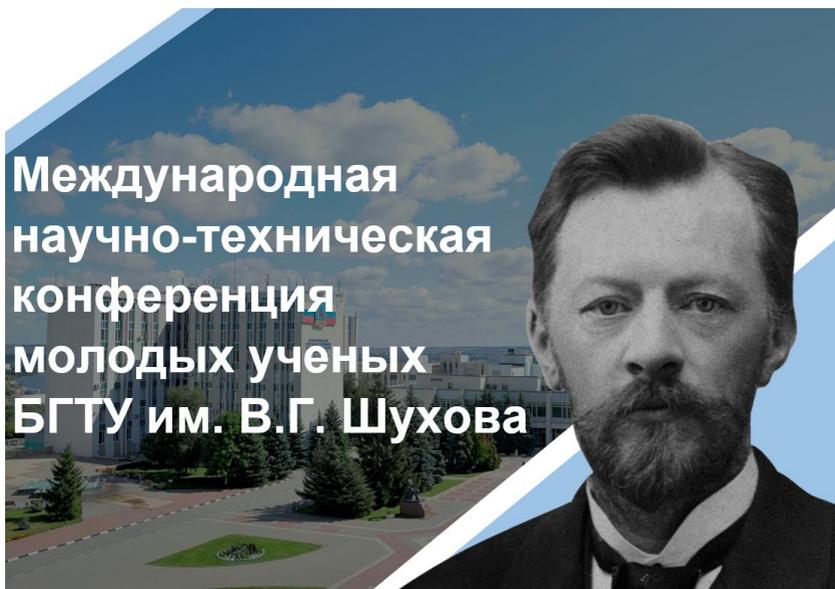


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Российская академия наук
Российская академия архитектуры и строительных наук
Администрация Белгородской области
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова
Международное общественное движение инноваторов
«Технопарк БГТУ им. В.Г. Шухова»



Сборник докладов

Часть 11

**Повышение качества, энерго- и ресурсосбережение в
производстве силикатных и композиционных
материалов**

Белгород
20-21 мая 2024 г.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48
М 43

**Международная научно-техническая конференция
молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова
[Электронный ресурс]:**
М 43
Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – Ч. 11. – 182 с.

ISBN 978-5-361-01330-2

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова.

Материалы статей могут быть использованы студентами, магистрантами, аспирантами и молодыми учеными, занимающимися вопросами энергоснабжения и управления в производстве строительных материалов, архитектурных конструкций, электротехники, экономики и менеджмента, гуманитарных и социальных исследований, а также в учебном процессе университета.

УДК 005.745
ББК 72.5+74.48

ISBN 978-5-361-01330-2

©Белгородский государственный
технологический университет
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2024

*Аксеева А.С., Дреер Ю.И., Фролова А.Ю.
Научный руководитель: Новосёлов А.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ОХЛАЖДЕНИЯ НА КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ БЕЛОГО КЛИНКЕРА

Белый портландцемент – специальный вид цемента, отличающийся от рядового портландцемента цветом и минералогическим составом. Данный продукт производят в ограниченных количествах, так как недостаточно сырьевой базы, удовлетворяющей требованиям для использования в производстве белого клинкера. Помимо этого, недостатком является отсутствие возможности рекуперации тепла, потому что полученный белый клинкер охлаждают в воде, а не в клинкерном охладителе [1].

Светлый оттенок у белого цемента получают благодаря использованию сырьевых материалов с очень ограниченным содержанием окрашивающих компонентов: железистых соединений, оксидов марганца, титана, хрома и другие [2].

Обжиг данного клинкера затруднен и производится при температуре 1550-1600°C на беззольном топливе (газе или мазуте). Расход топлива повышенный по сравнению с обычным портландцементом, производительность и стойкость футеровки ниже [3,4].

Клинкер при выходе из печи отбеливают для повышения белизны цемента, охлаждая резко водой, или воздействуя восстановительной бескислородной средой с последующим охлаждением. В связи с этим увеличивается степень белизны клинкера за счет перехода части оксида железа Fe_2O_3 в Fe_3O_4 , снижающего красящую его способность [5].

Основное свойство белого портландцемента - белизна, которая в соответствии с ГОСТ 965-89 оценивается коэффициентом отражения (КО). По степени белизны БПЦ в соответствии с ГОСТ 965-89 подразделяется на три сорта: I, II, III, имеющие КО не менее 80, 75 и 68% соответственно по отношению к эталону КО - матовым белым стеклам МС-14 или МС-20, имеющим КО - 96%.

Как известно, на белизну БПЦ оказывают влияние различные факторы: химический и минералогический составы клинкера, зависящие от расчетных значений коэффициента насыщения (КН), силикатного модуля (n) и глиноземистого модуля (p); содержания

оксидов железа, марганца, титана и магния; способа обжига и отбеливания клинкера; условий переработки сырьевых материалов и размола клинкера [6,7].

Существуют различные методы повышения белизны клинкера: хлорированием сырьевых смесей, водой, обжиг в регулируемой газовой среде и др. Было немало проведено опытов по отбеливанию цементного клинкера. Например, в работе [8] изучали влияние слабых растворов некоторых солей на белизну клинкера при резком его охлаждении. Для резкого охлаждения спеков служила среда, в которой находились 1 и 3% растворы NaCl и Na_2SO_4 , 2 и 5% растворы CaCl_2 , водная суспензия 0,2% Na_2SiF_6 и для сравнения - вода и воздух. Было установлено, что химический способ отбеливания позволяет получить цемент с более высокой белизной, чем при водном охлаждении. Максимальное повышение белизны достигается в 0,2% водной суспензии кремнефторида натрия и наименьшее в 1% растворе поваренной соли. Двухпроцентный раствор сернистого натрия по отбеливающему эффекту превосходит хлористый кальций при той же концентрации. В итоге сделано заключение, что отбеливанием клинкера в солевых растворах Na_2SiF_6 , Na_2SO_4 , NaCl и CaCl_2 можно получить цемент более высокой белизны, чем путем резкого охлаждения клинкера в воде. Наибольшее повышение белизны цемента достигается при резком охлаждении клинкера в водной суспензии кремнефторида натрия.

В настоящее время, основным способом отбеливания, без дополнительных экономических затрат, является способ резкого охлаждения клинкера в воде, что позволяет зафиксировать оксиды железа в двухвалентном состоянии, в виде FeO . Белизна подобного клинкера на 10-12% выше, чем медленно охлажденного. Этот способ отбеливания позволяет получать стабильные результаты по белизне и является весьма эффективным, но не самым лучшим, так как им не исчерпываются все резервы повышения белизны [9].

При проведении лабораторных исследований, чтобы повысить белизну цемента, чаще всего используется резкое охлаждение клинкера в воде.

Поэтому целью данной работы является исследование влияния температуры воды охлаждения на коэффициент отражения белого клинкера.

Для проведения исследования использовались следующие сырьевые компоненты: известняк ООО «Михайловский карьер», кварцит Норильского цементного завода, каолин месторождения Журавлиный лог. Химический состав данных компонентов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых компонентов

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ППП
Известняк	0,83	0,34	0,02	55,15	-	-	-	-	43,51
Кварцит	95,33	2,79	0,70	0,12	0,24	0,11	0,12	0,39	-
Каолин	67,10	21,70	1,22	0,49	0,03	0,03	-	1,91	7,16

На основе этих компонентов была составлена сырьевая смесь (табл. 2) со следующими характеристиками: коэффициент насыщения – 0,88, глиноземистый модуль – 13,98, силикатный модуль – 5,00. Расчетный минералогический состав синтезированного клинкера представлен в таблице 3.

Таблица 2 – Химический состав сырьевой смеси и клинкера, %

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	ППП
Сырьевая смесь	15,96	2,98	0,21	44,31	0,02	0,01	0,01	0,25	35,71
Клинкер	24,82	4,63	0,33	68,93	0,04	0,02	0,02	0,39	-

Таблица 3 – Минералогический состав клинкера, %

Минералогический состав клинкера, %					
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	MgO кл
60,33	25,65	11,72	1,01	0,03	0,04

Из полученной сырьевой смеси формовали таблетки массой 15 гр. и обжигали в печи при температуре 1450°C с изотермической выдержкой 1 час. Для проведения эксперимента по отбеливанию клинкера использовалась вода для охлаждения в широком температурном диапазоне (табл. 4). Охлаждение клинкера производилось в воде с температурой 1°C и 85°C.

Спеки полученные при всех температурах и охлажденные в воде имели темно-зеленый цвет, а измельченные в порошок светло-зеленоватый оттенок. С целью исключения влияния тонкости помола на белизну клинкера, образцы измельчались до одинаковой удельной поверхности около 460 м²/кг.

Таблица 4 – Температурный режим охлаждения клинкеров

Температура охлаждения клинкера, °C	1	85
Удельная поверхность, м ² /кг	465	463
Коэффициент отражения, %	82,7	83,0

Определение коэффициента отражения проводилось на приборе лабораторном цифровом для определения белизны муки РЗ-ПБЛ-ЦМ.

Степень белизны всех образцов составила от 82 до 86%, что соответствует I сорту белых цементов.

На основании проведенных экспериментов можно сделать заключение, что температура воды для охлаждения в производстве белого клинкера не оказывает влияния на белизну клинкера и качество готового продукта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ротыч Н.В. Влияние окислов некоторых переходных элементов на структуру и свойства белого портландцемента. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук, Новочеркасск, 1966.

2. Новоселов А.Г., Олянина И.В., Новоселова И.Н., Васина Ю.А., Ершова Ю.И., Куделина Я.И., Лоик Т.А. Исследование возможности снижения циркуляции оксида серы при производстве белого цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 7. С. 89 – 98. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-7-89-98.

3. Зубехин А.П., Голованова С.П. Белый портландцемент, его роль в архитектурно-строительном дизайне, производство и применение // Цемент и его применение. 2010. № 3. С. 35 – 37.

4. Кулабухов В.А., Дмитриев А.М., Чистяков Г.И., Кожевников В.Н., Алёшина О.К., Шутова А.В. Отечественная технология белого и цветных цементов (Часть 1, 2) // Цемент и его применение. 2007. №5. С. 2.

5. Макфи Д.Е., Даффи Дон. А., Херфорт Д. Факторы, влияющие на цвет белых портландцементов // Цемент и его применение. 2010. № 3. С. 40 – 45.

6. Крапивин, С. Н. Способы отбеливания клинкера белого цемента / С. Н. Крапивин, А. С. Лопарев // Молодые учёные России: сборник статей XX Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 20 декабря 2023 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2023. – С. 12 – 14. – EDN НЕНВРV.

7. Зубехин А.П. Голованова С.П. К теории белизны и цветности цемента // Цемент и его применение. – 1999. - №1. – С. 23 – 26.

8. Грачмян А.Н., Гайджуров П.П., Зубехин А.П., Ротыч А.В. Технология белого портландцемента.- М.: Стройиздат, 1970. 72 с.

9. Краснова А.К. Производство белого цемента в России // Шаг в науку. 2022. №3. URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения: 26.04.2024).

УДК 666.949

Вакуленко Д.А., Исаева А.С.

*Научный руководитель: Головизнина Т.Е. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

Производство вяжущих материалов является отличным утилизатором промышленных отходов. В работе рассмотрена вероятность использования отработанного машинного масла в качестве альтернативного топлива.

Отработанное машинное масло в основном состоит из: нефтепродуктов (от 57 до 94%), воды (до 3%) и железосодержащих примесей (от 3 до 40%). Данный отход можно использовать в качестве альтернативного топлива, так как он содержит до 94% нефтепродуктов, обладающих высокой теплотворной способностью – до 39 МДж/кг.

Отработанное машинное масло можно использовать как выгорающую добавку к сырьевому шламу при мокром способе производства цемента, так и в качестве альтернативного топлива [1]. Рассмотрен способ топливозамещения, при котором отработанное масло используется как альтернативное топливо.

При использовании отработки машинного масла в качестве альтернативного топлива, к смеси, в цементной вращающейся печи, присядет зола, которая может оказать влияние на процесс клинкерообразования [2]. Согласно проведенным расчетам установлено, что при гипотетической полной замене основного форсуночного топлива на отработанное масло, присадка золы составит до 3 % от массы клинкера.

Для того, чтобы установить влияние теоретического полного топливозамещения на качество клинкера, в условиях исследовательской лаборатории смоделировали процесс условного полного топливозамещения [3]. Чтобы смоделировать процесс присадки золы к клинкеру, в сырьевую смесь ввели предварительно полученную золу отработанного машинного масла. Согласно расчетам при полном топливозамещении присадка золы составит 0,315% от массы сырьевой

смеси. Количество присадки увеличили в два раза до 0,63%, чтобы выявить возможное влияние на кликерообразование.

Химический состав золы от сжигания отработанного масла определили с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав золы от сжигания отработанного масла, %

CaO	SO ₃	P ₂ O ₅	ZnO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
43,7	18,1	16,3	13,2	1,82	1,79
Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Прочие	
1,16	1,13	1,12	0,9	0,84	

Для моделирования процесса присадки золы, сырьевую смесь гомогенизировали с добавкой 0,63% золы отработки машинного масла. Из полученной смеси сформовали брекеты, которые подверглись высокотемпературной обработке в лабораторной печи. Также был произведен обжиг контрольной смеси без добавок при температуре 1450 °С с выдержкой в один час.

По данным рентгенофазового анализа в составе клинкера без добавок и клинкера с присадкой золы отработанного масла присутствуют основные клинкерные минералы (Рис. 1, рис. 2).

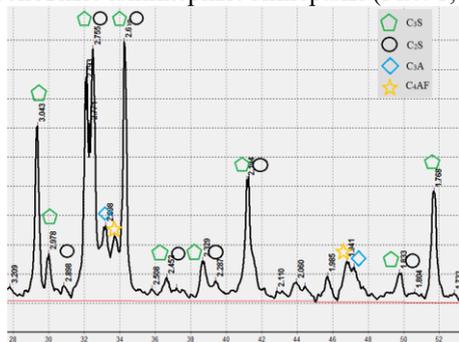


Рис. 1 Фрагмент дифрактограммы клинкера без добавок.

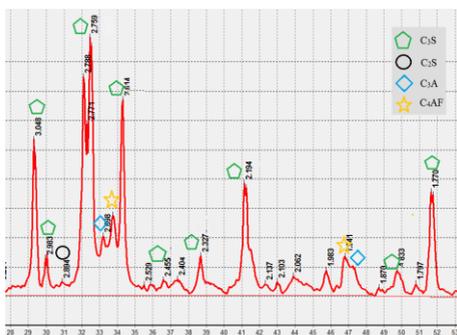


Рис 2. Фрагмент дифрактограммы клинкера с присадкой золы отработанного масла.

На рисунках 1 и 2 представлены фрагменты рентгенограммы клинкера без добавок и клинкера с присадкой золы отработанного масла. При сравнении двух дифрактограмм, можно сделать вывод, что у клинкера с присадкой золы минимален аналитический пик белитовой фазы $d=2,89 \text{ \AA}$ и повышено содержание C_4AF $d=2,64 \text{ \AA}$. Следовательно, присадка золы от сжигания отработки машинного масла, интенсифицирует процесс образования высокоосновных силикатов кальция, вероятно за счёт изменения свойств и количества расплава в обжигаемом материале[4].

Для определения гидравлической активности синтезированных клинкеров, образцы после обжига измельчили до удельной поверхности $S_{уд} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$ и усреднили с 5% гипса, получив цемент.

Гидравлическую активность клинкера без добавок и с присадкой золы определяли по пределу прочности на сжатие малых образцов из цементного теста с водоцементным отношением $В/Ц=25\%$. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Влияние присадки золы отработанного масла на гидравлическую активность цемента

Клинкер	Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте сут.		
	2	7	28
без добавки	27	60	74
с присадкой золы	31	58	76

Полученные данные демонстрируют, что при использовании отработанного машинного масла в качестве альтернативного топлива,

присадка золы от масла не оказывает отрицательного влияния на гидравлическую активность клинкера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента (учебное пособие). – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. – 308с.
2. Полипласт. Промышленная Химия [Электронный ресурс]: Использование альтернативного топлива в производстве цемента. – URL: <https://dzen.ru> (дата обращения: 08.05.2023)
3. Мирошникова, О. В. Использование различных горючих отходов в производстве цемента / О. В. Мирошникова, И. Н. Борисов. // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2018. – № 7. – С. 71-75.
4. Борисов И. Н. Особенности процессов минералообразования при обжиге цементного клинкера с использованием медеплавильного шлака.// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. № 2. С.11-13.
5. Goloviznina T.Y., Konovalov V.M., Morozova I.A. Sulfoaluminate Cement and Low-Temperature Roasting Additive from Low Aluminate Raw Materials with a High Content of Silicon Oxide// Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. T. 147. С 125-130
6. Классен, В.К. Техногенные материалы в производстве цемента: монография В. Классен., И.Н Борисов., В.Е. Мануйлов; под общ ред. В.К Классена. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 126 с.

УДК 666.189.3

***¹Варфоломеева С.В., ¹Бондаренко М.А., ²Платова Р.А.
Научный руководитель: Бессмертный В.С. д-р техн. наук. проф.***

*¹Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

²Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

СТЕНОВАЯ КЕРАМИКА, МОДИФИЦИРОВАННАЯ ТЕТРАОКСИДОМ МАРГАНЦА

Качество стеновой керамики, которое регламентируется ГОСТ 530-2012, определяется качеством сырьевых материалов [1]. К основным сырьевым материалам относят глинистые породы, которые представлены легкоплавкими красножгущимися глинами, суглинками, диатомитами, трепелами, аргиллитами, сланцами и др. [2]. К основным

свойствам глинистого сырья относят гранулометрический состав, пластичность, химический и минералогический состав, дисперсность глинистой составляющей, усадку, степень спекаемости, прочностные характеристики обожженных изделий [3]. В настоящее время в РФ существует проблема сырьевой базы для предприятий керамической промышленности. Запасы высококачественного глинистого сырья истощились. Низкокачественные глины требуют введение в состав корректирующих добавок

Корректирующими добавками в керамических массах могут служить техногенные отходы, содержащие в своем составе соединения марганца [4,5], которые влияют как на физико-механические, так и цветовые характеристики стеновой керамики. Введение в состав новокузнецкого суглинка отходов добычи марганцевых руд до 10 мас. % с содержанием MnO_2 24,5-29,2 % влияет не только цветовые характеристики, но и на прочность, плотность и водопоглощение [4]. Оксиды марганца окрашивают керамику в различные оттенки черного цвета: черно-серые, черно-синие, черно-оливковые, черно-коричневые [6]. Черный цвет в настоящее время как в мировой практике, так и в РФ входит в архитектурную моду, а здания и сооружения, выполненные из стеновой керамики темных оттенков, выделяются из общего облика архитектурной среды [7]. По мнению авторов [7], с учетом технологических факторов для объемного окрашивания стеновой керамики целесообразно использование соединений, содержащих в своем составе оксиды железа и марганца: герценит ($FeO \cdot Al_2O_3$); галаксит ($MnO \cdot Al_2O_3$); яkobсит ($MnO \cdot Fe_2O_3$); железистая шпинель ($FeO \cdot Fe_2O_3$). Максимальный визуальный эффект достигается, когда в общей массе материала образуются хромофорные кластеры со средним размером 20-40 мкм (которые резко повышают поглощение световых лучей). Темно-коричневый цвет в керамике обусловлен также образованием, равномерно распределенным по общей массе хромофорных кластеров гематита. Стеклофаза в керамике является важным элементом, обеспечивающим рассредоточение оксидов железа и шпинели в виде феррита марганца [6]. Особенности объемного окрашивания стеновой керамики тетраоксидом марганца рассмотрены в работе [7]. В керамические составы вводили от 0,7 до 3,8 мас. % тетраоксида марганца. Стеновая керамика с содержанием тетраоксида марганца 3,8 мас. % имела насыщенный черный цвет. В цитируемых работах [6, 7] исследовали влияние оксидов марганца как в составе техногенных отходов, так и отдельного тетраоксида марганца. Однако, до настоящего времени не рассматривались вопросы влияния тетраоксида марганца на формирование фазового состава, макро- и

микроструктуры стеновой керамики. Решением, не применяемым ранее, является исследование влияния тетраоксида марганца на физико-химические и цветовые характеристики и формирование структуры керамического черепка на основе мусковитовой глины Гжельского месторождения.

Объектом исследований служила глина гжельского месторождения Московской области. В качестве компонента для объемного окрашивания использовали тонкодисперсный порошок тетраоксида марганца (Mn_3O_4) «Manganaseoxid Mn_3O_4 » Color K/S компании Kimpe (Франция). Отмывка глины от крупных нерастворимых включений, в частности, кварцевого песка и других полевошпатовых пород, проводили по стандартной методике. Пластическое формирование образцов в виде балочек проводили в металлических формах размером 75x150x100 мм. Сушку балочек осуществляли на воздухе и в сушильном шкафу до постоянной массы при 105°C. Обжиг балочек производили в силитовой печи при максимальной температуре 1050°C в течении 2 часов. Отмытая глина высушивалась, измельчалась в шаровой мельнице МШФ/2 в режиме сухого помола. Было приготовлено четыре состава: без тетраоксида марганца и с различным содержанием Mn_3O_4 (таблица 1). Усреднение компонентов проводили в центробежно-планетарной мельнице «САНД».

Таблица 1 – Составы керамических масс

№	Шифр массы	Содержание Mn_3O_4 , масс. %
1.	M0	0
2.	M1	1
3.	M5	5
4.	M7	7

Воздушную усадку и формовочную влажность определяли по стандартным методикам [8]. Гранулометрический состав глины определяли оптическим, ситовым и пипеточным методом [8]. Плотность и водопоглощение керамики с тетраоксидом марганца определяли по ГОСТ 7025-91. Коэффициент чувствительности глины к сушке определяли по методике А.Ф. Чижского [9].

После обжига определяют основные показатели качества: прочность на изгиб, водопоглощение, воздушную и огневую усадку. Прочность на изгиб определяли на испытательной машине FP 10/1. Проводили по 10 испытаний каждой партии образцов.

Водопоглощение исследовали по стандартной методике в соответствии с требованиями ГОСТ 7025-91.

Рентгенофазовый анализ керамики проводили на дифрактометре ART XTRA Thermo FisherScientific в диапазоне двойных параметров 4-64 при следующих параметрах съемки диффрактограмм: медный анод и K_{α} – излучение при 40 кВ.

Дифференциально-термический анализ глины гжельского месторождения проводили на термоанализаторе SETARAMTGA 92-22 при нагреве до 1000°C со скоростями 5°C/мин и 10°C/мин.

Оксидный состав отмытой глины определяли на спектрометре APL 9900 Thermoscientific (Швейцария) при следующих параметрах: кобальтовый анод и K_{α} – излучение при 60 кВт.

Научная гипотеза. Предполагается, что тетраоксид марганца в мусковитовой глине Гжельского месторождения будет являться не только компонентом, существенно влияющим на цветовые характеристики керамики, но и влиять на физическо-механические характеристики конечного продукта. При введении в состав шихт Mn_3O_4 в количестве более 5% на стадии сушки тетраоксид марганца является отощителем и будет снижать воздушную усадку. На стадии обжига тетраоксид марганца будет образовывать легкоплавкие эвтектики, увеличивая количество жидкой фазы в керамике и интенсифицировать процессы жидкофазного спекания. Предполагается, что на границе раздел фаз при спекании будут проходить такие физико-химические процессы, как растворение, полиморфные превращения и кристаллизация с образованием различных соединений марганца, которые будут вносить свои коррективы в создании прочного каркаса керамического черепка.

Химический анализ глины показал, что в своем составе она имеет повышенное содержание оксида железа и калия (масс. %) SiO_2 - 58,13-58,89; Al_2O_3 - 20,28-20,87; Fe_2O_3 - 6,07-6,32; K_2O - 5,56-5,67; CaO - 2,89-3,11; MgO -3,01-3,12; TiO_2 -0,81-0,87; Na_2O -0,21-0,26; P_2O_5 - 0,20-0,22; SO_3 -0,04-0,07; п.п.п. – 5,4 – 6,1.

Содержание примесей в глине может лежать в широких интервалах и существенно влиять на систематическую ошибку эксперимента. С целью исключения систематической ошибки глина была отмыта и подвергнута рентгенофазовому анализу (рис. 1).

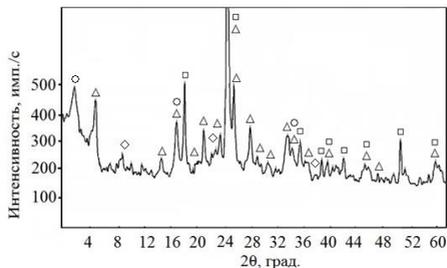


Рис. 1 Порошковая рентгеновская дифрактограмма отмытой глины Гжельского месторождения: кварц– □; мусковит – Δ; нонтротит– ○; каолинит – ◇.

Как видно из данных РФА (рис. 1) в отмытой глине присутствует тонкодисперсный кварц. Основным глинистым минералом, судя по интенсивности пиков, является мусковит. Второстепенными минералами являются каолинит и нонтротит, который является минералом подгруппы монтмориллонита.

Мусковит характеризуется эндотермическим эффектом при температуре более 850°C.

Нонтротит - минерал подгруппы монтмориллонита имеет три эндотермических эффекта в интервале температур 125-240°C, 500°C и 950-970°C [11].

Исследовали закономерности дегидратации глинистых минералов глины Гжельского месторождения при скоростях нагрева 5°C/мин (рис. 2).

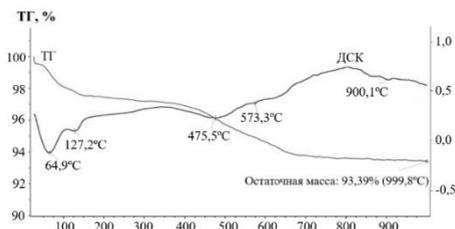


Рис. 2 Дереватограмма глины Гжельского месторождения при скорости нагрева 5 °С/мин

В соответствии с требованиями ГОСТ 9169-75 глина Гжельского месторождения относится к полукислородному глинистому сырью (содержание $Al_2O_3+TiO_2$ от 12 до 30%). Согласно А.И Августинику глина Гжельского месторождения попадает в область глинистого сырья, пригодного для производства керамического кирпича и камней [3] Гранулометрический состав глинистого сырья в технологии керамики влияет на такие важные характеристики, как пластичность, усадку,

набухание, сопротивление сдвигу и др.

Гранулометрический состав исходной глины Гжельского месторождения включает следующие фракции (масс. %):

(1,0-0,5 мм)-1,35; (0,5-0,25 мм)-3,95; (0,25-0,10 мм)-8,71; (0,10-0,05)-11,23; (0,05-0,01 мм)-22,12; (0,01-0,005 мм)-11,10; (0,05-0,01 мм)-22,12; (0,01-0,005 мм)-11,10; (0,005-0,001 мм) – 14,63; (менее 0,001)-27,85.

По результатам исследований гранулометрического состава глина была размещена в систему треугольных координат «глина-пылевидные-песок», разработанную М.И. Роговым [1].

В соответствии с классификацией М.И. Рогового глина Гжельского месторождения размещается в поле, обозначенном для пластичных пылевидных глин.

Важнейшими технологическими дообжиговыми показателями глинистого сырья являются: формовочная влажность, число пластичности, чувствительность к сушке, воздушная линейная усадка, прочность сырца после сушки.

Важнейшие дообжиговые свойства глины Гжельского месторождения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Дообжиговые свойства глины Гжельского месторождения

Формовочная влажность, %	Число пластичности	Воздушная линейная усадка, %	Чувствительность к сушке по Чижскому А.Ф.	Прочность сырца после сушки (105 С о)	
				Ризг, МПа	Рсжат, МПа
21,8	14,7	8,9	1,32	1,9	6,9

Как видно из таблицы 2 глина относится к умереннопластичным (число пластичности не более 15). По чувствительности к сушке глинистое сырье относится к классу среднечувствительных (коэффициент чувствительности к сушке находится в пределах 1,2-1,8) По значению воздушной усадки глину можно отнести к разряду среднеусадочной. По механической прочности на изгиб в сухом состоянии глина относится к группе с умеренной механической прочностью.

После обжига глины с содержанием 1%, 5% и 7% тетраоксида марганца был исследован фазовый состав керамики (рис. 3).

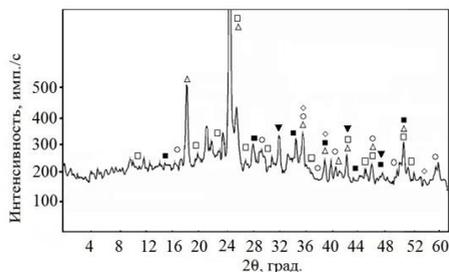


Рис. 3 Порошковая рентгеновская дифрактограмма обожженной керамики с содержанием 7% тетраоксида марганца: SiO_2 – Δ ; Fe_2SiO_4 – фаялит \circ ; $\text{Mn}_{1,03}\text{Fe}_{1,97}\text{O}_4$ (якобит) – \blacksquare ; $\text{Fe}_{0,9}\text{O}$ (вюстит) – \diamond ; Mn_3O_4 – \square ; $(\text{Mn},\text{Fe})_2\text{O}_3$ (биксбит) – \blacktriangledown .

В процессе термообработки Гжельской глины с содержанием тетраоксида марганца 7% в ней образуются якобит нестехиометрического состава $\text{Mn}_{1,03}\text{Fe}_{0,97}\text{O}_4$ и биксбит $(\text{Mn},\text{Fe})_2\text{O}_3$. Соединения железа представлены фаялитом состава Fe_2SiO_4 и вюститом нестехиометрического состава $\text{Fe}_{0,9}\text{O}$.

Исследована микротвердость керамики с содержанием 1, 5 и 7 % тетраоксида марганца (таблица 3).

Таблица 3 – Твердость образцов керамики по Викерсу

Состав массы	Твердость, НВ
М0	59,5±2,1
М1	63,4±2,5
М5	72,9±2,4
М7	80,5±2,2

Как видно из таблицы 3, с увеличением содержания в керамике тетраоксида марганца микротвердость увеличивается.

Результаты испытаний исследуемых составов на основе глины Гжельского месторождения представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели качества керамики на основе глины Гжельского месторождения

№ п/п	Номер массы	Прочность на изгиб, МПа	Водопоглощение, %	Усадка огневая, %	Плотность, кг/ м ³
1.	М0	19,3	11,78	1,8	1869
2.	М1	20,9	10,04	2,1	1887
3.	М5	23,8	9,21	2,7	1904
4.	М7	25,9	8,27	3,1	1966

Как видно из таблицы 4, с увеличением содержания тетраоксида марганца с 1% до 7% прочность на изгиб возрастает с 20,9 до 25,9 МПа, а водопоглощение снижается с 10,04 до 8,27 %.

Тетраоксид марганца можно рассматривать как мультимедийную добавку (комплексную добавку) и как корректирующий компонент, влияющий одновременно как на физико-механические, так и эстетические свойства стеновой керамики. Тетраоксид марганца позволяет повысить как прочность стеновой керамики, так и корректировать цвет обожженных изделий.

Установлено, что с увеличением содержания тетраоксида марганца с 1 мас. % до 7 мас. % увеличивается прочность, плотность, усадка стеновой керамики, а цвет меняется от светло-серых тонов до насыщенного красного цвета.

Показано, что в процессе спекания в стеновой керамике образуются соединения нестехиометрического состава: вюстит $\text{Fe}_{0,9}\text{O}$ и яkobсит $\text{Mn}_{1,03}\text{Fe}_{0,97}\text{O}_4$.

Представленные результаты исследований носят как теоретический, так и практический характер и могут быть рекомендованы для использования предприятиями керамической промышленности РФ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Роговой М.И. Технология искусственных пористых заполнителей и керамики. М.: Стройиздат, 1974, 320 с.
2. Августинник А.И. Керамика. Л: Стройиздат, 1975, 592 с.
3. Семенов С.В. Стеновая керамика на основе техногенных отходов промышленности (новые составы и технология плазменной обработки): Монография / С.В. Семенов, В.С. Бессмертный, О.Н. Соколова. – Воронеж: Научная книга, 2006. – 128 с.
4. Столбушкин А.Ю. Разработка технологии керамического кирпича объемного окрашивания из природного и техногенного сырья / А.Ю. Столбушкин, Д.В. Акст, Е.В. Истерин, О.А. Фомина // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2021, №7, С. 382-386.
5. Бессмертный В.С., Здоренко Н.М., Черкасов А.В., Бондаренко М.А., Макаров А.В., Платов Ю.Т., Платова Р.А. / Возможность использования в технологии стеновой керамики отходов ванадиевого производства // Стекло и керамика. 2022. Т. 95. № 7 (1135). С. 43-50.
6. Котляр В.Д. Особенности получения клинкерного кирпича

черного цвета / В.Д. Котляр, Н.И. Небежко, Ю.В. Терехина // Строительные материалы. 2020. № 4-5. С. 97-102.

7. Щикальцова В.И. Оценка цвет лицевого кирпича методом UV-VIS-NIR-спектроскопии / В.И. Щикальцова, Ю.Т. Платов, В.А. Расулов // Строительные материалы. 2020. № 12. С. 16-20.

8. Практикум по технологии керамики: Учеб. пособие для вузов / Н.Т. Андрианов, А.В. Беляков, А.С. Власов и др; Под. Ред. проф. Гузмана-М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2005. - 336 с.

9. Книгина Г.И., Вершинина Э.Н, Точки Л.Н, Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных пористых заполнителей М.: высшая школа. - 1977. - 208 с.

10. Фекличев В.Г. Диагностические спектры минералов. М.: Недра, 1977. 228 с.

11. Рамачандран В.С. Применение дифференциального термического анализа в химии цементов. Под ред. В.Б. Ратинова. Пер. с англ. М., Стройиздат, 1977, 408 с.

УДК 666.965

Гхебремедхин К.В., Гродников И.Р.

Научный руководитель: Володченко А.Н., д-р техн. наук, проф.

*Белгородский государственный технологический университет
им В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

СВИНЦОВОСОДЕРЖАЩЕЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время в связи с активным развитием атомных технологий появляется необходимость в разработке новых защитных материалов и совершенствование технологий существующих материалов, которые настоящее время не применяются для этих целей.

Наиболее распространенными стеновыми материалами являются автоклавные силикатные материалы, которые не используются в качестве радиационно-защитных материалов. В качестве сырья для производства стеновых материалов применяется кварцевый песок и известь, обеспечивающее фазообразование в системе $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Однако синтез новообразований ограничен соединениями низкоосновных $\text{CSH}(\text{B})$ и высокоосновных гидросиликатов кальция $\text{C}_2\text{SH}(\text{A})$.

Одним из методов повышения эксплуатационных свойств материалов является использование алюмосиликатного сырья, которое обеспечивает синтез более широкого состава новообразований. Как

было установлено, для этого можно использовать вскрышные алюмосиликатные породы, широко распространенные на территории Российской Федерации и в больших количествах извлекаемые при добыче полезных ископаемых [1–15]. Это сырье обеспечивает получение качественных стеновых материалов как при автоклавировании, так и при пропарке [16–18].

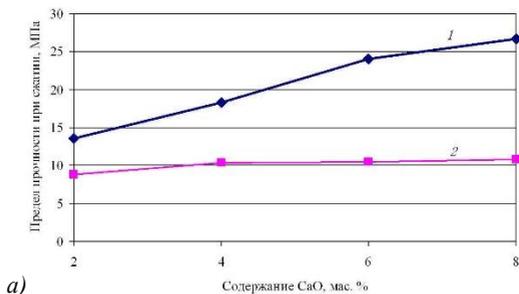
Стеновые материалы, полученные по традиционной технологии, не используют для защиты от ионизирующего излучения. Для этих целей необходимо сырье, в котором содержатся оксиды тяжелых металлов. Например, в известково-песчаную смесь можно добавлять магнетит или содержащие его породы [19].

В этой работе предлагается использовать свинцовосодержащее сырье для получения материалов на основе силикатно-кальциевой матрицы.

Целью работы является изучение возможности получения радиационно-защитных силикатных материалов на основе силикатно-кальциевой матрицы с использованием свинцовосодержащих стекол.

Для проведения исследований использовался кварцевый песок месторождения Белгородской области, известь АО «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ» и свинцовосодержащее стекло, которое содержало преимущественно следующие оксиды: SiO_2 – 69,01 мас. %, PbO – 12,87 мас. % и K_2O – 15,28 %. В экспериментах также использовали обычное стекло состава $\text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot 6\text{SiO}_2$.

Сырьевые смеси готовили путем смешения измельченного стекла ($S_{\text{уд.}} = 1500 \text{ см}^2/\text{г}$) и молотой негашеной извести ($S_{\text{уд.}} = 300 \text{ м}^2/\text{г}$). Смеси гасились в герметически закрытых чашках. Образцы формовались при давлении 20 МПа. Образцы пропаривали при 95 °С в течение 12 ч. Результаты испытаний приведены на рис. 1.



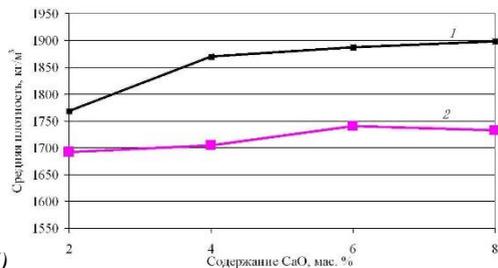


Рис. 1. Предел прочности при сжатии (а) и средняя плотность (б) в зависимости от содержания CaO:

1 – свинцовосодержащее стекло; 2 – обычное стекло

Предел прочности при сжатии образцов на основе свинцовосодержащего стекла существенно выше, чем на основе обычного стекла (см. рис. 1, а). При содержании 2 % CaO прочность на основе свинцовосодержащего стекла составляет 13,54 МПа, что на 53,6 % выше, чем на основе обычного стекла. При повышении содержания извести до 8 % прочность увеличивается в два раза до 26,7 МПа. Для обычного стекла прочность повышается только на 22 %.

Средняя плотность образцов на основе свинцовосодержащего стекла выше, чем на основе обычного стекла (см. рис. 1, б), причем с повышением содержания извести с 2 до 8 % средняя плотность повышается с 1780 до 1910 кг/м³. Для обычного стекла повышение средняя плотность повышается только с 1685 до 1735 кг/м³. Из этих данных следует, что в образцах на основе свинцовосодержащего стекла формируется более плотная упаковка материала.

Данные расчета линейного ослабления излучения представлены на рис. 2.

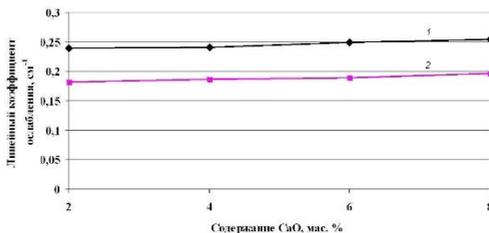


Рис. 2. Линейный коэффициент ослабления в зависимости от содержания CaO

1 – свинцовосодержащее стекло; 2 – обычное стекло

- Для материалов на основе обычного стекла с содержанием 2 мас. % CaO значения линейного коэффициента ослабления излучения

составляет $0,1820 \text{ см}^{-1}$ (см. рис. 2). Увеличением содержания СаО до 8 мас. % оказывает незначительное влияние на коэффициент линейного ослабления – повышение до $0,1961 \text{ см}^{-1}$ (на 7,8 %).

• Материалы на основе свинцовосодержащего стекла обладают большими значениями линейного коэффициента ослабления в сравнении с обычным стеклом. Для образцов с содержанием СаО 2 мас. % линейный коэффициент ослабления составляет $0,2392 \text{ см}^{-1}$ (см. рис. 2). При увеличении содержания извести до 8 мас. % линейного коэффициента ослабления повышается до $0,2542 \text{ см}^{-1}$.

Таким образом, свинцовосодержащее стекла пригодны в качестве сырья для получения радиационно-защитных безавтоклавных материалов на основе силикатно-кальциевой матрицы. Такие материалы можно использовать для биологической защиты помещений от ионизирующего излучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В.С. Геоника (геомиметика). Примеры реализации в строительном материаловедении. Белгород, 2014.

2. Кара К.А. К вопросу о технико-экономической эффективности неавтоклавного ячеистого бетона // Региональная архитектура и строительство. 2016. № 4 (29). С. 20-27.

3. Алфимова Н.И. Повышение эффективности стеновых камней за счет использования техногенного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2011. № 2. С. 56-59.

4. Эммануэль Я., Франсуа Н., Володченко А.Н. Стеновые материалы на основе латеритов Камеруна // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2010. № 2. С. 43-46.

5. Лесовик В.С., Загороднюк Л.Х., Куприна А.А., Елистраткин М.Ю., Володченко А.Н. Эффективные кладочные растворы для автоклавных стеновых материалов // Строительные материалы. 2016. № 12. С. 22-25.

6. Володченко А.Н., Жуков Р.В., Фоменко Ю.В., Алфимов С.И. Силикатный бетон на нетрадиционном сырье // Бетон и железобетон. 2006. № 6. С.16-18.

7. Володченко А.Н., Жуков Р.В., Фоменко Ю.В., Алфимов С.И. Силикатные материалы на основе вскрышных пород Архангельской алмазоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2006. № 3(135). С. 67-

70.

8. Володченко А.Н. Влияние механоактивации известково-сапонитового вяжущего на свойства автоклавных силикатных материалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 13-16.

9. Володченко А.Н. Разработка состава теплоизоляционных материалов автоклавного твердения на основе глинистого сырья // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. № 2. С. 162-167.

10. Володченко А.Н., Строкова В.В. Разработка научных основ производства автоклавных силикатных материалов с использованием глинистого сырья // Строительные материалы. 2018. № 9. С. 25-31.

11. Володченко А.Н. Алюмосиликатное сырье для получения ячеистых бетонов // Международный научно-исследовательский журнал. 2014. № 7-1 (26). С. 36-38.

12. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Перспективы расширения номенклатуры силикатных материалов автоклавного твердения // Строительные материалы. 2016. № 9. С. 34-37.

13. Володченко А.Н., Строкова В.В. Особенности технологии получения конструкционно-теплоизоляционных ячеистых бетонов на основе нетрадиционного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 1. С. 138-143.

14. Володченко А.Н. Алюмосиликатное сырье для получения автоклавных отделочных материалов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 2. С. 172-177.

15. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Реологические свойства газобетонной смеси на основе нетрадиционного сырья // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2012. № 3. С. 45-48.

16. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Volodchenko A.N., Glagolev E.S., Bogusevich G.G. Energy saving raw materials for the production of new generation silicate materials // International Journal of Pharmacy and Technology. 2016. Т. 8. № 4. С. 22673–22686.

17. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Cherepanova I.A., Volodchenko A.N., Zagorodnjuk L.H., Elistratkin M.Y. Peculiarities of non-autoclaved lime wall materials production using clays // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. С. 022021.

18. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H., Volodchenko A.N. Influence of the inorganic modifier structure on structural composite properties // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Т.

10. № 19. С. 40617-40622.

19. Кидане В.Г., Володченко А.Н. Перспективы использования латеритов для получения силикатных материалов // Инновации в строительстве – 2023. Материалы международной научно-практической конференции. Редакционная коллегия: Н.П. Лукутцова [и др.]. Брянск, 1023. С. 34-40.

УДК 666.9.035

Давидюк А.С., Вагина Я.С.

Научный руководитель: Головизнина Т.Е. канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИ ОБРАБОТАННЫХ ШЛАКОВ В СОСТАВЕ ВЯЖУЩИХ КОМПОЗИЦИЙ

Гипсовые материалы и изделия давно применяются в строительстве. Наличие в России больших месторождений исходного сырья - двухводного гипса и ангидрита - во многих районах страны, простота переработки его в вяжущие вещества – вот главная причина их востребованности на рынке строительной промышленности. Шлаки же напротив являются экологической проблемой. Существующих технологий переработки недостаточно для реализации объемов шлаковых отвалов. Данную проблему можно решить путем переработки шлаков в гипсовые вяжущие.

Существует способ синтеза двухводного гипса из отходов промышленности – высокоосновных шлаков. Сущность метода заключается в обработке шлака раствором серной кислоты. Минералы шлаков характеризуются наличием обособленных кремнекислородных тетраэдров, что обосновывает выбранный метод выщелачивания из его структуры ионов кальция для получения синтетического гипса.

В процессе выщелачивания образуются синтетический двухводный гипс и кремниевая кислота, являющаяся активной составляющей. Гидрогель кремнезёма - $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в нормальных условиях способен взаимодействовать с $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием гидросиликатов кальция, наиболее устойчивых и прочных соединений искусственного камня.

В данной работе предлагается синтез и использование синтетического гипса в гипсоцементно-пуццолановых вяжущих (ГЦПВ).

Для изготовления ГЦПВ использованы три вида гипса:

- синтезированный из природного гипсового камня в качестве

контрольного материала;

- два вида синтетического гипса, синтезированного из шлака ОЭМК и шлака Яковлевского ГОК, в качестве экспериментальных материалов.

В качестве пуццоланового компонента использована зола уноса Смоленской ТЭЦ, цементная составляющая - ЦЕМ 0 42,5 Н. Химический состав использованных материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав использованных материалов, масс %

Наименование	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	R ₂ O	Прочие	ППП
ЦЕМ 0 42,5 Н	64,59	19,87	5,17	3,17	3,72	1,55	1,28	0,65	0
Природный гипсовый камень	39,36	3,46	1,12	0,27	33,43	6,19	0,33	2,34	13,5
Зола-уноса ТЭЦ	6,61	50,95	21,89	6,64	0,59	1,66	0,76	1,1	9,8
Шлак ОЭМК	35,19	22,21	4,7	11,59	0,51	12,91	0,25	1,34	11,3
Шлак Яковлевского ГОК	32,99	36,91	13,31	0,37	0	13,39	1,24	1,79	0

Синтез полуводного гипса из природного гипсового камня осуществлён варкой в открытой среде при температуре ~110÷120°С.

Синтез полуводного гипса из шлаков произведен обработкой измельченных шлаков раствором серной кислоты с последующей варкой полученного полупродукта при температуре ~110÷120°С.

Подобран оптимальный режим получения синтетического гипса из рассмотренных шлаков. Количество кислоты рассчитано из учета связывания 90% CaO в шлаках в CaSO₄·2H₂O. Расчётное соотношение представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Расчёт соотношения компонентов для получения синтетического гипса

Материал	Содержание CaO, %	Добавка раствора H ₂ SO ₄ , %
Шлак ОЭМК	35,19	65,8
Шлак Яковлевского ГОК	32,99	64,3

Экспериментально, по отсутствию кислой среды по завершению реакции синтеза, установлено, что обработка шлаков раствором H₂SO₄ концентрации 1:2 (33%) наиболее эффективна.

Результат варки трёх видов гипсового сырья для получения полуводного гипса представлен на рисунке 1.

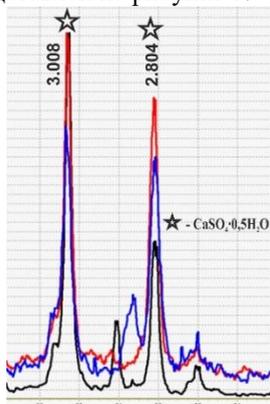


Рис. 1 Фрагмент рентгенограммы сравнения продуктов тепловой обработки:

- природного гипсового камня
- синтетического гипса из шлака Яковлевского ГОКа
- синтетического гипса из шлака ОЭМК

По данным рентгенофазового анализа продукты тепловой обработки природного гипсового камня и синтетического гипса из шлаков представлены преимущественно полуводным гипсом. Минимальная интенсивность дифракционных максимумов $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ идентифицирована у продукта тепловой обработки синтетического гипса из шлака ОЭМК.

Соответственно, варкой природного гипсового камня и синтетического гипса удалось получить полуводный гипс.

Исследовано влияния использования синтетического гипса на свойства ГЦПВ следующего состава - гипс: цемент: пуццолан = 70:20:10.

Материальный состав изученных ГЦПВ представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Материальный состав ГЦПВ, %

Материал/Состав	№1	№2	№3
Природный гипс	70	-	-
Синтетический гипс из шлака ОЭМК	-	70	-
Синтетический гипс из шлака Яковлевского ГОК	-	-	70
Цемент ЦЕМ 0	20	20	20
Зола-уноса	10	10	10

Продукты гидратации ГЦПВ трёх составов представлены на

рисунке 2.

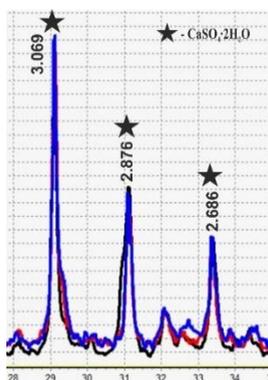


Рис. 2 Фрагмент рентгенограммы сравнения продуктов гидратации ГЦПВ из:

- природного гипсового камня
- синтетического гипса из шлака Яковлевского ГОКа
- синтетического гипса из шлака ОЭМК

В составе продуктов гидратации ГЦПВ из разных видов гипсового вяжущего существенных отличий не зафиксировано. Основным продуктом является двухводный гипс - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Проведены испытания в малых образцах с целью изучения влияния синтетического гипса на свойства ГЦПВ. Результаты представлены на рисунке 3.

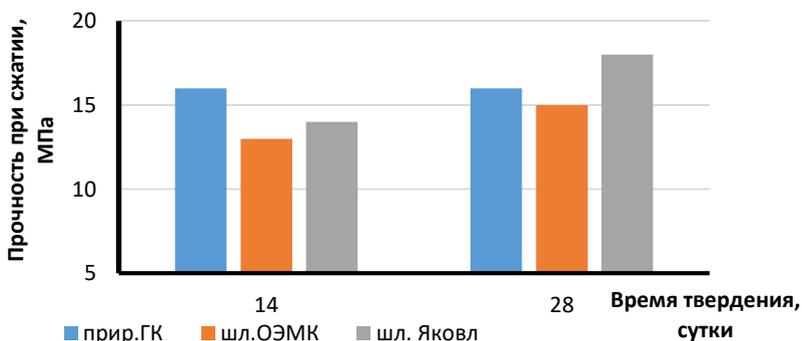


Рис.3 Влияние вида гипсового вяжущего на прочность ГЦПВ

Составы были усреднены и затворены водой. Водотвёрдое соотношение (В/Т) для всех составов составило 0,5 - 0,6. Образцы расформованы через 2 часа и помещены в гидрозатвор на сутки для

обеспечения гидратации цементной составляющей. В последующем твердение образцов происходило в воздушной среде. Испытания на прочность при сжатии проведены на 14 и 28 суток.

По полученным результатам можно сделать вывод, что самую большую прочность имеет образец на основе синтетического гипса из шлака Яковлевского ГОК. Наименее прочным является образец на основе синтетического гипса из шлака ОЭМК. Также зафиксировано, что образцы с синтетическим гипсом после 14 суток твердения продолжают набирать прочность – у состава с гипсом из шлака ОЭМК прочность к 28 суткам увеличивается на 28%, у состава с гипсом из шлака Яковлевского ГОК на 44%. У образца из композиции с гипсом из природного гипсового камня прирост прочности не зафиксирован.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волженский А. В. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие и изделия / А. В. Волженский, М. И. Роговой, В. И. Стамбулко; под общей ред. А. В. Волженского. - Москва: Стройиздат, 1960. - 168 с.
2. Иванникова Р.В., Завальских В.И., Соколова Т.Г. Влияние режима твердения на гидратацию гипсоцементно-пуццолановых вяжущих // Строительные материалы, 1974, № 2, с.30-31.
3. Классен В. К. Техногенные материалы в производстве цемента: учебное пособие / В. К. Классен, И. Н. Борисов, В. Е. Мануйлов; под общ ред. В. К. Классена. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 126 с.
4. Борисов И. Н. Особенности процессов минералообразования при обжиге цементного клинкера с использованием медеплавильного шлака.// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. № 2. С.11-13.
5. Борисов И.Н., Мандикова О.С., Семин А.Н. Расширяющаяся добавка на основе сульфатированного и ферритного отходов для получения специальных цементов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2012. №1. С. 125-128.
6. Goloviznina T.Y., Konovalov V.M., Morozova I.A. Sulfoaluminate Cement and Low-Temperature Roasting Additive from Low Aluminate Raw Materials with a High Content of Silicon Oxide// Lecture Notes in Civil Engineering. 2021. T. 147. С 125-130

Долгова А.В.

Научный руководитель: Афонина Е.В., доц.

*Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия*

COMPOSITE MATERIALS ARE THE FUTURE OF AVIATION

The aviation industry, constantly developing, requires new technical solutions. Without new materials and technologies, it is impossible to create both modern and promising aircraft. Reducing the weight of the structure is one of the main tasks of the development of modern aviation technology. Composite materials meet this requirement [1].

Composite materials (composites) are multicomponent materials that consist of a plastic base (matrix) and a rigid reinforcing filler. Carbon and glass fibers are often the reinforcing fiber in polymer composites, and the matrix is a polymer material, for example, synthetic resin. The creation of a new material occurs due to a combination of dissimilar substances, but at the same time the properties differ from those of each of its components [1].

The use of composite materials is relevant wherever it is necessary to take into account high specific strength, wide anisotropy, high crack resistance, vibration resistance, corrosion resistance, manufacturability, durability, lightness, Consider the aviation industry, namely helicopters.

The Ka-27/32 is a Soviet naval anti-submarine helicopter. On this helicopter, elements of the fuselage, tail, and HB blades are made of composite materials.

The Ka-52 (Alligator) is a new generation Russian reconnaissance and attack helicopter. The machine is capable of hitting armored and unarmored vehicles, manpower and aerial targets on the battlefield. In the Ka-52, fuselage panels, tail, HB blades, element bushings, and HB columns are made of composite materials.

The Mi-38 is a multi-purpose helicopter that can be used to transport cargo and passengers, including VIP, used as a search and rescue helicopter and a flying ambulance, for flights over land and waters. The Mi-38 has many progressive features, in particular: a "glass cockpit" for two pilots and the widespread use of composite materials, including in the main and tail rotors.

Ansats is a multi-purpose helicopter. The helicopter is certified for use in the temperature range from -45 to +50 °C. Its operation has been approved in simple weather conditions, outside icing conditions, day and night, over land, for the transportation of goods inside the fuselage, for the transportation of passengers, for the transportation of injured and medical workers. Over 20

years, the proportion of composite materials in the design of the Ansat multipurpose helicopter (including the tail, HB, PB blades, HB sleeve, hoods) has increased by 15% to 35%. Thanks to this, it was possible to reduce the weight of the helicopter [2].

Almost the entire range of composite materials is used in the aircraft industry:

- Aramid is a synthetic fiber with high density parameters, resistance to temperature changes and elasticity. Aramid fiber has good resistance to the influence of various chemical reagents. It is used as an additive in composite materials in the production of high-strength fabrics. fabrics are used primarily in the production of the lower part of the fuselage and aircraft engine pylons;

- Carbon fabrics are polymer composite materials made of intertwined carbon fiber strands arranged in a matrix of polymer (for example, epoxy) resins. The materials are characterized by high strength, rigidity and low weight, often stronger than steel, and much lighter. Carbon fabrics are used for the manufacture of steering surfaces, doors, hood, aircraft engines and many other elements;

- Fiberglass is a laminated material, the filler of which is fiberglass, and the matrix is phenol-formaldehyde resin. Due to its high mechanical properties, low specific gravity and high heat resistance, fiberglass is a promising material, which allows it to be widely used in various branches of mechanical engineering. Fiberglass has very low thermal conductivity, strength, biological resistance, and weather resistance. Fiberglass is subject to moisture saturation, water saturation and abrasion. Fiberglass fabrics are used in the production of less loaded parts of the structure, such as air pressure receivers, air intake, etc [3].

Let's consider composite materials, which are currently under research. For example, spider silk is one of the promising materials for use in composite materials. Spider silk has high plasticity. It allows you to stretch the fiber up to 140% of its normal length. Spider silk also retains its strength at temperatures up to -40 °C. These properties make spider silk ideal for use as a fibrous material in the production of plastic composite materials that retain their strength even at abnormal temperatures. Plastic composite materials will be useful for aircraft in those parts that will be subjected to variable loads, for example, at the junction of the wing with the main fuselage. The increased strength, toughness and ductility of such a composite will allow high stresses to be applied to a part or joint before a catastrophic failure occurs. The advantage of synthetic composites based on spider silk is that their fibers will be biodegradable [4].

Many unsuccessful attempts have been made to reproduce spider silk in the laboratory, but perfect re-synthesis has not yet been achieved.

Another material can be stainless steel, created on the basis of composites, nanofibers and plywood. The steel sheets are made of the same material, and they can be machined and processed in exactly the same way as ordinary steel.

In addition, composite materials have a number of disadvantages. First of all, this is anisotropy – the same properties of a composite material can vary tenfold depending on the direction of external influence (along the fibers or across). Composites have a large specific volume. They are hygroscopic: they have the property of absorbing moisture. Composites are toxic, and during manufacture and operation these materials are capable of releasing harmful vapors to human health. They have a high price. This is due to the fact that expensive equipment is often used in the production of composite materials, which affects their cost. So you should always think before using composite materials in any industry [5].

Thus, due to the higher strength-to-weight ratio, composite materials have an advantage over conventional metal materials; although it is currently expensive to manufacture composites. Until methods are implemented to reduce the initial cost of implementation and solve the problem of non-biodegradability of existing composites, this relatively new material will not be able to completely replace traditional metal alloys.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Композитные материалы [Электронный ресурс] / Олимпиада по истории авиации и воздухоплавания. – Режим доступа: <https://olymp.asclub.ru>. – Дата доступа: 12. 05. 2024.
2. Васильев, В. В. Механика конструкций из композиционных материалов / В. В. Васильев. – М. : Машиностроение, 1988. – 264 с.
3. Композиты 21 век = Composite 21 century : журнал / учредитель: Союз КТИ (Союз производителей труб и изделий и композиционных материалов). – Москва: ИД «Композиты 21 век», 2011.
4. Композиционные материалы: справочник / В. В. Васильев, В. Д. Протасов, В. В. Болотин и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
5. Агапов В. А. Будущее за мультиаксиальным трикотажем/ В. А. Агапов, А. А. Карасева // Курьер. Легкая промышленность. – 2005. - № 3. – С. 12-14.

*Дудина Е.И., Смагина А.Р., Колесова А.С.
 Научный руководитель: Перетоккина Н.А., канд. тех. наук, доц.
 Белгородский государственный технологический университет
 им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Металлургический шлак — это отходы металлургического производства, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду и подлежат утилизации. Однако некоторые шлаки обладают определенными свойствами, которые могут быть полезны при производстве строительных материалов, в том числе керамического кирпича. Использование шлака в качестве добавки может не только уменьшить объем отходов, но и улучшить некоторые свойства кирпича, такие как прочность, плотность и теплоизоляционные свойства.

Добыча огнеупорной глины Русиновского месторождения ведется по 9 сортам, каждый из которых уникален и находит своё применение в разных отраслях. Требования, предъявляемые к каждому сорту глины, приведены в таблице 1 [1-2].

Таблица 1. Требования, предъявляемые к глине

Наименование показателя	Норма для марок глин								
	Огнеупорных							Тугоплавких	
	Р-О	Р-1	РБ-1	Р-2	РБ-2	Р-3	РБ-3	РН-4	РН-5
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
Массовая доля на прокаленное вещество, %									
- оксида алюминия (Al ₂ O ₃), не менее	26-30	24-26	24-26	22-24	22-24	20-22	20-22	18-20	15-18
- оксида железа (Fe ₂ O ₃), не менее	1,1	1,1	2,0	1,1	1,3	1,0	1,3	1,0	1,0
- оксида титана (TiO ₂), не менее	1,6	Не нормируется							
Потери при прокаливании	12,0	Не нормируется							

(ППП), %, не более									
Огнеупорность, °С, не менее	1610	Не нормируется							
Остаток на сите с сеткой № 0063, не более	2.5	6	8	8	8	8	8	10	15

Благодаря своим свойствам, глина именно этого месторождения была использована для приготовления масс для дальнейших исследований.

Мариупольский шлак был использован в качестве добавки. Мариупольский шлак обычно содержит оксиды кремния, алюминия, кальция, магния, железа и других элементов. В процессе его образования могут присутствовать и следы других металлов и примесей. Мариупольский шлак обычно имеет порошкообразную или зернистую структуру. Он имеет серый или черный цвет и может быть различной крупности, в зависимости от его применения и степени измельчения. Мариупольский шлак обладает цементационной активностью, то есть способностью образовывать цементирующие соединения при смешивании с водой или гидратацией [3-4].

Из глин и шлака готовились массы для пластического формования образцов. Составы исследуемых масс представлены в таблице 2.

Таблица 2. Состав экспериментальных масс

Материал	Номер состава			
	1	2	3	4
	Содержание компонентов, %			
Глина Русиновская	100	95	90	85
Шлак Мариупольский	0	5	10	15

Предварительно глинистое сырье сушили в сушильном шкафу при 100 °С, измельчали в помольных бегунах до прохода через сито 063. Шлак измельчали в шаровой мельнице в течение двух часов. Образцы изготавливали в форме кубиков размером 30×30×30 мм методом пластического формования в металлических формах [4-6].

Обжиг образцов производили в лабораторной электрической печи. Под печи и ряды образцов пересыпали глиноземом и образцы обжигали при следующих температурах: 1000, 1100, 1200 °С. Обжиг проводился

до признаков пережога. Подъем температуры производился со скоростью 3 °С/мин, после обжига образцы были перенесены в муфельную печь, нагретую до 600 °С, где были охлаждены до комнатной температуры. После обжига определили усадку общую и огневую, водопоглощение и кажущуюся плотность (ГОСТ 2409-2014). Качество обожженных образцов оценивалось по внешнему виду и основным физико-механическим показателям, приведенным в табл. 3 [7-9].

Таблица 3. Физико-механические показатели

Состав	Температура обжига, °С	Водопоглощение, В, %	Кажущаяся пористость P_k , %	Кажущаяся плотность $\gamma_{каж}$, г/см ³	Линейная усадка Δl , %	Предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$, МПа
Образцы, не содержащие шлак						
1	1000	15,49	28,88	1,86	5,45	6,37
1	1100	8,87	17,84	2,02	5,44	9,7
1	1200	0,51	1,13	2,22	8,58	20,4
Образцы, содержащие шлак Мариупольский						
2	1000	9,36	18,08	1,96	5,06	5,19
3		20,20	35,56	1,78	4,83	5,00
4		13,20	24,83	1,88	6,14	5,19
2	1100	8,01	16,39	2,05	7,97	9,8
3		9,23	18,56	2,01	5,93	7,41
4		11,14	21,56	1,94	5,82	8,3
2	1200	0,42	0,9	2,12	8,33	20,5
3		0,84	1,75	2,08	6,68	12,41
4		8,12	15,05	1,88	5,35	9,81

Используя результаты расчетов, построили графики зависимости водопоглощения, пористости, кажущейся плотности и прочности на сжатие от состава огнеупорных масс при различных температурах (рис. 1-4).

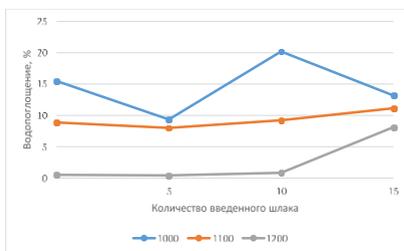


Рис. 1. Зависимости водопоглощения массы с Мариупольским шлаком от его количества при различных температурах



Рис. 2. Зависимости пористости массы с Мариупольским шлаком от его количества при различных температурах

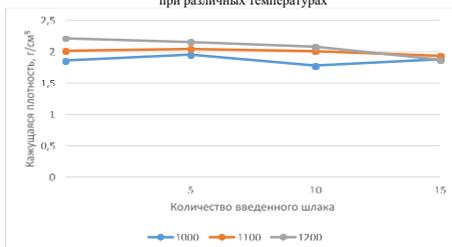


Рис. 3. Зависимости кажущейся плотности массы с Мариупольским шлаком от его количества при различных температурах



Рис.4. Зависимость прочности на сжатие с Мариупольским шлаком от его количества при различных температурах.

В данной работе показана возможность использования Мариупольского шлака в качестве добавки при производстве

керамического кирпича. Введение шлака в состав массы снижает ее коэффициент чувствительности к сушке, что позволяет сушить изделия быстрее и при большей температуре тем самым, сокращая время технологического цикла.

Исследования показали, что возможно получение керамического кирпича с добавкой шлака в количестве 5 % марок 50, 100 и 200, в количестве 10 % - марок 50, 75 и 125, в количестве 15 % - марок 50, 75 и 100, удовлетворяющие ГОСТ 530 - 2012. Также возможно получение клинкерного кирпича с добавлением шлака в количестве 5 %, так как значения водопоглощения, средней плотности и предела прочности на сжатие удовлетворяют ГОСТ 32311 – 2012.

Не смотря на снижение прочностных характеристик использование шлака, способствует решению экологической проблемы его утилизации. Так же использование шлаков при производстве керамического кирпича позволяет расширить цветовую палитру изделий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Василенко Т.А., Ламакина М.П. Физико-механические свойства керамзитового гравия, полученного с использованием электросталеплавильного шлака // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2016. - Том 1 № 6. - с. 187-196.

3. Гаськов В. Р., Стариков В. И. Использование шлаков в строительной керамике. М.: Стройиздат, 2005. – 105 - 201 с.

4. Иванов А. А., Ковалева Е. В., Новикова В. Н. и др. Разработка составов масс для керамического кирпича с использованием металлургических шлаков. Сборник научных трудов "Строительные материалы и изделия", 2015. – 13 - 20 с.

5. Баранов Е.В. , Шелковникова Т.И. , Хорина А.В. Особенности получения керамического кирпича светлых тонов // Вестник белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова Том 1 № 7 , 2016. с. 105-163.

6. Евтушенко Е.И., Перетокина Н.А., Дороганов В.А., Сулейманова Л.А., Сыса О.К. Теплоизоляционные материалы на основе искусственных керамических вяжущих различного состава // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013.№6. с. 149-151.

7. Череватова А.В., Перетокина Н.А., Ермак Ю.Н. Совершенствование технологии получения жаростойких легковесов с применением модифицированной ВКВС // Промышленное и гражданское строительство, 2007. № 8. – С. 24-25.

8. ГОСТ 530 – 2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт. – Взамен ГОСТ 530 -2007; введ. 2013 – 01 – 07. – Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, 2013. – 27 с.

9. ГОСТ 323111 – 2012. Кирпич керамический клинкерный для мощения. Межгосударственный стандарт; введ. 2014 – 01 – 07. – Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, 2019. – 10 с.

УДК 666.32

Дудина Е.И.

*Научный руководитель: Сыса О.К., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ОБЛИЦОВКИ СТЕН

Основным сырьем для производства керамической плитки являются глинистые материалы (глина и каолины), кварцевый песок, содержание глинистых компонентов в массах которых составляет не менее 45-50%, в том числе глины – не менее 30 % [1]. В условиях глобализации производство керамической плитки для облицовки внутренних стен осуществляется на одном и том же оборудовании по известным технологиям, что определяет близость стоимости продукции. Кроме того, в последнее время многие отечественные предприятия прибегают к использованию сырья зарубежных поставщиков в связи с истощением запасов высококачественного сырья. Поэтому приоритетным направлением исследований является разработка композиций керамических масс на основе сырья отечественных месторождений, позволяющих улучшить технические и эксплуатационные, а также эстетические и потребительские свойства изделий и снизить их себестоимость [2-3].

В данной статье предпринята попытка разработки составов масс для производства керамической облицовочной плитки с постепенной заменой глины Малоархангельского месторождения на глину Чибисовского месторождения. Глина малоархангельская в настоящее время применяется на ООО «КЕАМА МАРАЦЦИ» для производства данного вида плитки.

Исследование минерального состава проводилось рентгенофазовым методом анализа. Было выявлено, что

минералогический состав Малоархангельской и Чибисовской глины сходны между собой. Основными глинистыми минералами являются каолинит, иллит, примесями - гематит, ортоклаз, кварц. По химическому составу глины схожи между собой, относятся к кислым и полукислым разностям, хорошо формируются, спекаются и пригодны для изготовления различных керамических изделий. Согласно ГОСТ 9169-2021 «Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация», глины пригодны для производства керамической плитки для внутренней облицовки стен [4-6].

В лабораторных условия были разработаны многокомпонентные составы облицовочной плитки, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы масс для производства облицовочной керамической плитки

№ состава	Содержание компонентов, % мас.					
	Глина Малоархангельская	Глина Чибисовская	Песок кварцевый Карповский	Мел Воронежский	Возврат БИКО	Шамот
0	61,44	–	14,00	9,60	4,00	10,56
I	45,83	20,83	13,54	10,42	–	9,4
II	25,00	42,00	13,54	10,42	–	9,4
III	0,00	66,60	13,54	10,42	–	9,4

Образцы 15 × 60 × 8 мм формовали методом двухступенчатого прессования с влажностью пресс-порошка 7%. После они подвергались сушке на воздухе в течении суток, затем в сушильном шкафу при температуре 100°C, С в течении 24 часа. [7]. Затем образцы обжигали в муфельной печи при температуре 1050°C, 1100°C, 1150°C, 1170°C, 1200°C. Далее были определены основные физико-механические свойства. По полученным результатам были построены графики зависимости основных свойств от содержания заменяемой глины.

На основе полученных результатов, представленных на рисунке 1, можно сделать вывод, что при увеличении содержания Чибисовской глины усадочные явления уменьшаются.

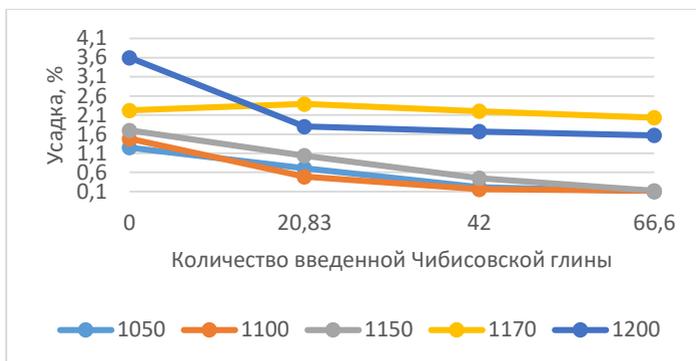


Рис. 1 Зависимость полной усадки образцов от количества Чибисовской глины

Из результатов испытаний, показанных на рисунке 2, было выявлено, что при увеличении содержания Чибисовской глины в массе, плотность испытуемых образцов минимально отличается от исходных образцов на основе Малоархангельской глины [8]. Плотность исходного образца практически идентична плотности образца с полностью заменённым глинистым сырьем 1,77 и 1,84 г/см³, соответственно.

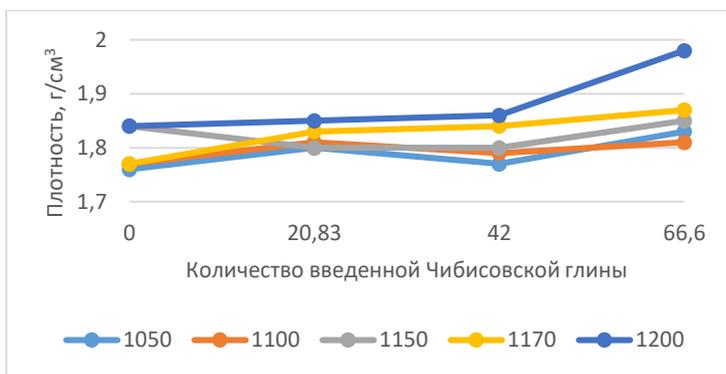


Рис 2. Зависимость кажущейся плотности образцов от количества Чибисовской глины

На рисунке 3 представлена зависимость водопоглощения от количества Чибисовской глины. При содержании Малоархагельской глины в массе 66 % образцы имеют водопоглощение выше 20 % при температуре обжига 1150 °С, спекание не достигается. С поднятием температуры водопоглощение уменьшается у всех образцов. При 1200 °С водопоглощение приближенно к требованиям ГОСТ 13996 – 2019 (16

%) у всех образцов. Так же у III состава водопоглощение приближено к требуемым значениям при 1150 °С. С увеличением количества Чибисовской глины водопоглощение уменьшается. Из данной зависимости выпадает II состав, у которого водопоглощение больше, чем у I состава (исключение – образец обожженный при 1200 °С).

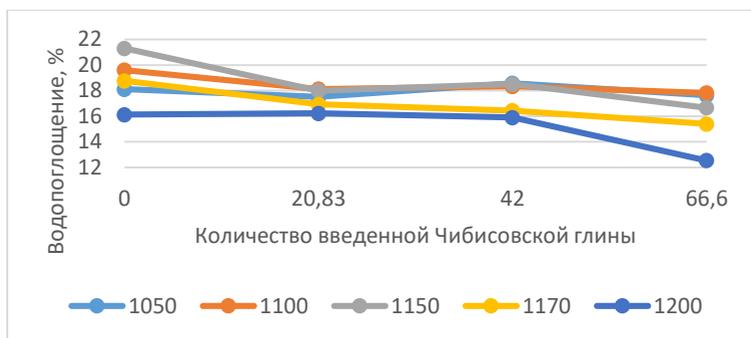


Рис 3. Зависимость водопоглощения образцов от количества Чибисовской глины

На рисунке 4 представлена зависимость предела прочности от количества Чибисовской глины. С повышением температуры предел прочности образцов увеличивается из-за лучшей спекаемости массы. С повышением содержания Чибисовской глины предел прочности практически не изменяется и остается примерно на значении 4,5 МПа.

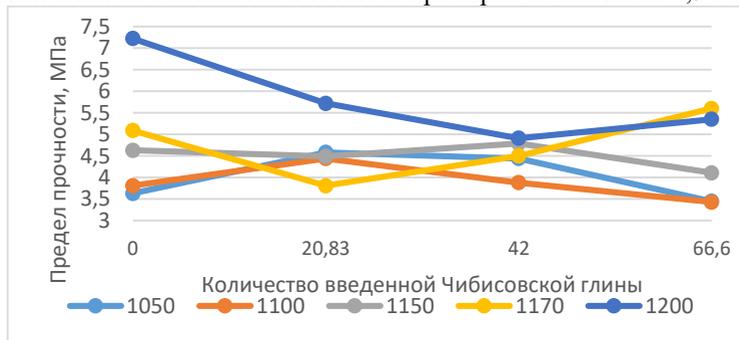


Рис. 4. Зависимость предела прочности от количества Чибисовской глины

На основе проведенных исследований установлено, что при изменении процентного содержания Малоархангельской глины с последующей полной её заменой на Чибисовскую глину в массах для производства облицовочной плитки, значительного изменения физико-

механических свойств и химического состава, а следовательно, и технологической ценности не наблюдалось. Полученные образцы с заменённым сырьем характеризуются достаточно низкой усадкой, и водопоглощением 16%, что соответствует ГОСТ 13996 – 2019 «Плитки керамические. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт» [9]. Проведённые исследования свойств образцов оптимальных составов подтвердили прогнозы о благоприятной замене глин Малоархангельского месторождения на глины Чибисовского месторождения Липицкой области, обеспечивающие высокие эксплуатационные свойства керамических материалов, в случае истощения запасов глин Орловского месторождения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Г.Д. Коваленко, Технология производства строительной керамики, Издательство Ассоциации строительных вузов, Москва, 2015. – 250 с.

2. Солодкий Н.Ф., Шамриков А.С. Сырьевые материалы и пути повышения эффективности производства строительной керамики // Стекло и керамика. 2009. № 1. С. 26–29.

3. Ашмарин Г.Д., Курносое В.В., Ласточкин В.Г. Энерго- и ресурсосберегающая технология керамических стеновых материалов // Строительные материалы. 2010. № 4. С. 24–27.

4. Сыса О. К., Сычева А.В., Омарова Л.А. Разработка состава массы керамической плитки для внутренней облицовки стен на основе глины большекарповского месторождения/ Сб. докл. XI Международный молодежный форум «Образование. Наука. Производство», Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. – 585-589 с.

5. Хорина А. В. Сравнительный анализ структуры и фазового состава высокопрочных керамических изделий / А. В. Хорина, Т. И. Шелковникова // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2023. - № 6. - С. 17-25.

6. Евтушенко Е.И., Перетокина Н.А., Дороганов В.А., Сулейманова Л.А., Сыса О.К. Теплоизоляционные материалы на основе искусственных керамических вяжущих различного состава // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №6. с. 149-151.

7. Бельмаз, Н.С. Химическая технология керамики и огнеупоров: учебное пособие. М.: Изд-во БГТУ, 2018. 276 с.

8. Бельмаз Н.С. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу " Химическая технология керамики и огнеупоров" / сост.: Н.С. Бельмаз. Белгород: Изд-во БГТУ, 2017.32с.

9. ГОСТ 13996 – 2019. Плитки керамические. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт. – Взамен ГОСТ 13996-93; ГОСТ 6141-91; ГОСТ 6787-2001; введ. 2020 – 01 – 06. - Москва: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 2019. – 37 с.

УДК 666.94

Золотков М.М., Таралло З.В., Крапивин С.Н.
Научный руководитель: Долгова Е.П., канд. техн. наук, доц.
*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВЛИЯНИЕ ЦИРКУЛИРУЮЩИХ ЩЕЛОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНОЙ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ

Цементная промышленность играет ключевую роль в современном строительстве, обеспечивая необходимую инфраструктуру для развития общества. Однако непрерывное совершенствование процессов производства цемента является необходимостью для улучшения его качества и экологической устойчивости. В этом контексте, внимание исследователей всё больше привлекает роль щелочных соединений в процессах минералообразования цементной сырьевой смеси. Эти соединения, являющиеся важными компонентами в составе смеси, могут оказывать значительное влияние на формирование минералогической структуры цементных материалов.

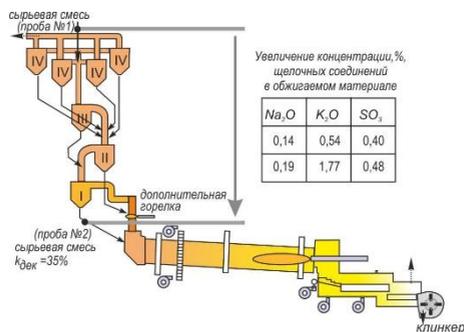


Рис. 1 Схема отбора проб сырьевой смеси на входе в циклонный теплообменник (проба №1) и на входе в печь (проба №2)

Понимание механизмов взаимодействия циркулирующих щелочных соединений с составляющими цементной смеси имеет потенциал для оптимизации производственных процессов и улучшения качества готового продукта.

При сухом способе производства портландцементного клинкера, при котором влажные компоненты подвергаются измельчению и сушке с получением сырьевой муки $W \sim 1\%$, в связи с его высокой производительностью особенно выражено накопление солей щелочных металлов в результате их циркуляции [1].

Как известно, незначительное количество естественной щелочной примеси в цементном сырье может являться минерализатором для низкотемпературных процессов и снижать температуру появления клинкерного расплава [2, 3]. Однако со временем концентрация их многократно возрастает.

Следовательно, необходимо установить влияние циркулирующих щелочных соединений на процессы минералообразования цементной сырьевой смеси, накапливающихся в пределах печного агрегата.

Действительно, согласно химическому анализу проб сырьевой смеси Спасского цементного завода, отобранных на входе в циклонный теплообменник (проба №1) и на входе во вращающуюся печь (проба №2), концентрация щелочных соединений резко увеличивается (Рис.1). Так, содержание Na_2O в сырьевой муке возрастает на 35%, а K_2O в 3,3 раза только за несколько десятков секунд прохождения циклонного теплообменника. Таким образом, суммарное их содержание на входе в печь составляет 1,96%, в связи с чем возможно ожидать снижение интенсивности алитообразования и качества клинкера.

Степень отрицательного воздействия значительного количества соли щелочного металла на процессы минералообразования и обжига клинкера определяется анионной ее составляющей [4, 5].

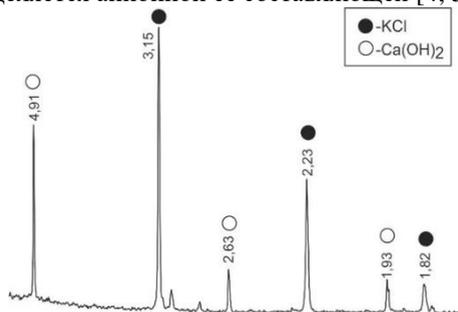


Рис. 2 Рентгенограмма водорастворимых соединений, содержащихся в сырьевой муке на входе в печь (проба №2)

Для определения вида циркулирующих солей щелочных металлов частично декарбонизированная (ППП=22,55%) сырьевая мука, отобранная на входе в печь (проба №2), была отмыта от водорастворимых соединений. Рентгенофазовый анализ показал (Рис. 2), что кристаллический остаток, выпаренный из полученной водной вытяжки, состоит преимущественно из KCl (3,14; 2,23; 1,82 Å) и $Ca(OH)_2$ (4,91; 2,63; 1,93 Å).

Для оценки влияния циркулирующих щелочных солей на алитообразование отобранные пробы №1 и №2 были обожжены до 1200 и 1350°C. Фазовый состав полученных спеков определялся с помощью рентгенофазового анализа (Рис. 3-4).

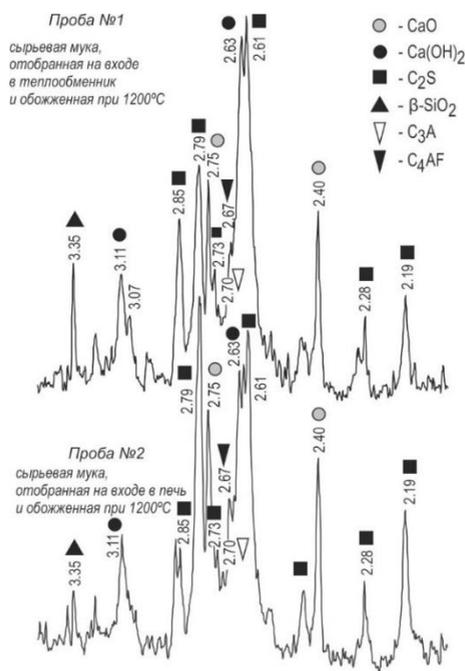


Рис. 3 Фрагменты рентгенограмм проб №1 и №2, обожжённых при 1200°C

При расшифровке и анализе рентгенограмм учитывался следующий важный фактор: сырьевая смесь, отобранная на входе в печь (проба №2), в отличие от пробы №1, отобранной на входе в теплообменник, подвергалась тепловой обработке повторно в ходе эксперимента. Вследствие этого в первую очередь оценивалось изменение качественного, а не количественного фазового состава проб.

Так, при 1200°C, до появления клинкерного расплава, на рентгенограммах проб присутствуют отражения всех клинкерных минералов кроме алита (Рис.3). Следует отметить ожидаемые различия в скорости минералообразования в пробах сырьевой смеси – в пробе №1 наблюдается ярко выраженный дифракционный максимум кварца (3,35 Å) и несколько меньшие интенсивности отражений C₂S (2,79 и 2,19 Å), что свидетельствует о замедленном образовании силикатов кальция в ней в сравнении с пробой №2, повторно термически обработанной и содержащей щелочную соль в виде KCl.

При 1350°C, после появления значительного количества расплава, на рентгенограммах (Рис. 4) наблюдаются дифракционные отражения, характерные для трехкальциевого силиката C₃S (3,04 Å). При этом интенсивность его отражений в обеих пробах практически идентична.

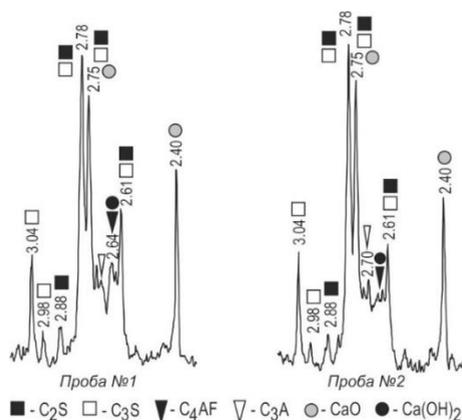


Рис. 4 Фрагменты рентгенограмм проб №1 и №2, обожженных при 1350°C

Таким образом, в ходе исследования цементной сырьевой смеси Спасского цементного завода сухого способа было установлено, что при прохождении сырьевой смеси циклонного теплообменника концентрация примесных щелочных соединений в ней может увеличиваться в несколько раз в результате циркуляции в пределах печного агрегата. Для спасского сырья таким циркулирующим соединением является хлорид калия.

Исследование процессов силикатообразования при 1200 и 1350°C в присутствии KCl показало, что хлорид калия не оказывает отрицательного влияния на образование основных клинкерных минералов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций: учеб. пособие / В. К. Классен. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 308 с.
2. Волконский Б.В. Минерализаторы в цементной промышленности / Б.В. Волконский, П.Ф. Коновалов, С.Д. Макашев. – М.: Стройиздат, 1964. – 200 с.
3. Волконский Б.В. Справочник по химии цемента / Под ред. Б. В. Волконского, Л. Г. Судакаса. – Л.: Стройиздат, 1980. – 221 с.
4. Ерыгина А.О. Влияние примесей щелочных металлов в сырье на качество цемента / А.О. Ерыгина, П.С. Голобородкин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01-20 мая 2019 года. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. – С.2435-2439 – EDN IZGUGA.
5. Мишин Д.А. Причины снижения эффективности действия минерализаторов обжига портландцементного клинкера / Д.А. Мишин, С.В. Ковалев, В.Г. Чекулаев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016. – №5. – С.161-165.

УДК 666.943.1

Ильиных А.И.

*Научный руководитель: Смаль Д.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЛАКОВ НА СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЕВОГО КОМПОНЕНТА

Современная строительная отрасль является одной из наиболее важных отраслей мировой экономики, и всегда существует постоянная потребность в разработке и совершенствовании строительных материалов. Одним из самых известных и широко используемых строительных материалов является портландцемент, который является основным компонентом бетона и железобетона.

Однако, производство портландцемента требует значительных затрат энергии и может приводить к существенным негативным воздействиям на окружающую среду из-за выбросов углекислого газа и использования природных ресурсов.

В свете этих проблем, актуальность исследования влияния шлаков в производстве портландцемента становится явной. Шлаки, как побочный продукт различных промышленных процессов, обладают потенциалом быть использованными в качестве добавок к цементу с целью улучшения его свойств и снижения негативного окружающего воздействия производства цемента. Исследование влияния шлаков на свойства портландцемента имеет важное значение для определения возможности и эффективности их использования в производстве строительных материалов [1].

В данной работе оценивалась возможность применения шлака как в качестве добавки, так и в качестве компонента сырьевой смеси.

Будет рассмотрено три шлака с различным химическим составом и железосодержащая добавка: 1-шлак печной электросталеплавильный; 2-колошниковая пыль; 3-шлак внепечной электросталеплавильный №1; 4-шлак внепечной электросталеплавильный №2. Химический состав всех исследуемых шлаков представлен в табл 1.

Таблица 1 – Химический состав шлаков

	Fe_2O_3	SiO_2	CaO	Al_2O_3	MgO	Na_2O	SO_3	K_2O	ZnO	TiO_2	MnO
1.	37,8	16,7	35,1	2,9	1,7	0,2	0,22	0,01	-	0,31	3,11
2.	76,4	11,2	6,7	1,7	1,6	0,8	0,67	0,54	0,10	0,06	0,05
3.	1,4	22,7	51,7	13,4	7,2	0,1	0,95	0,01	0,01	0,54	0,26
4.	0,5	21,8	52,6	16,5	5,2	0,02	0,8	-	0,001	0,53	0,19

При выполнении научно-исследовательской работы применялись физико-химические и физико-механические методы анализа, рентгенофазовый анализ (РФА), определение естественной влажности, потерь при прокаливании (ППП) и активности каждого из шлаков [2].

Чтобы увеличить содержание в сырьевой смеси Fe_2O_3 , используют колчеданные огарки, колошниковую пыль доменного производства. Для повышения содержания SiO_2 использовали, кварцевый песок [3].

Исходя из выше перечисленного, произвели расчет состава сырьевой смеси с применением всех шлаков, вследствие чего

получились две четырехкомпонентные сырьевые смеси, состоящие из следующих компонентов: известняк, шлак, колошниковая пыль и песок.

Таблица 2 – Сырьевая смесь 1

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	ППП	Прочие	Сумма
Изв-к	0,06	0,04	0,02	31,7	0,30	0	0	25,1	0,38	57,7
Шл-к №1	6,25	3,67	0,39	14,2	1,98	0,26	0,03	1,82	0,69	29,3
Кол. ПЫЛЬ	0,42	0,06	2,89	0,25	0,06	0,03	0,05	0,37	0	4,13
Песок	8,55	0,19	0,01	0	0,01	0	0,03	0,10	0	8,89
С-в сырьев. смеси в %	15,3	3,96	3,31	46,2	2,35	0,29	0,11	27,4	1,07	100
С-в Клинкера в %	21,1	5,45	4,56	63,7	3,24	0,40	0,15		1,47	100

Таблица 3 – Сырьевая смесь 2

Компонент	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	ППП	Прочие	Сумма
Изв-к	0,06	0,04	0,02	33,9	0,3	0	0	26,9	0,41	61,72
Шлак №2	4,77	3,6	0,11	11,5	1,1	0,2	0	1,93	0,33	23,54
Кол. ПЫЛЬ	0,46	0,07	3,14	0,3	0,1	0,03	0,06	0,40	0	4,5
Песок	9,84	0,22	0,01	0	0	0	0,04	0,12	0	10,25
С-в сырьев. смеси в %	5,1	3,93	3,28	45,8	1,5	0,2	0,1	29,3	0,7	100
С-в Клинкера в %	21,4	5,56	4,64	64,8	2,2	0,3	0,1		1,05	100

Помимо исследуемых, также использовали эталонную сырьевую смесь АО «Серебряковцемент» для сравнения

Таким образом, было спрессовано 11 образцов, диаметром 30 мм, каждой из сырьевых смесей. Эти образцы подверглись обжигу при температуре 1450°C и выдержке 50 минут (скорость нагрева – 5 °С/мин).

Далее был проанализирован рентгенофазовый анализ каждого из клинкеров. Так, на всех рентгенограммах выявились такие клинкерные фазы как: C₃S (3,040 Å; 3,034 Å; 2,783 Å; 2,778 Å; 2,608 Å; 2,321 Å; 2,188 Å; 2,163 Å; 1,830 Å), C₂S (2,745 Å; 2,613 Å; 2,607 Å; 2,18 Å), C₃A (1,83 Å), C₄AF (2,65 Å).

Для оценки размалываемости образцов клинкера, использовали лабораторную металлическую мельницу, объемом 1 литр и массой шаровой загрузки 1200 г. Измельчение проводили в течение 45 минут, с остановками для определения дисперсных показателей размалываемых проб. В течение этого времени удельная поверхность всех образцов росла с примерно одинаковой прогрессией. Однако, глядя на рис 1, можно заметить, что проба цемента с добавкой шлака №1 достигает нужной удельной поверхности (S_{уд}=323 м²/кг) быстрее, чем смесь со шлаком №2, которая достигла необходимой удельной поверхности (S_{уд}=325 м²/кг) только через 45 минут [4]. Кинетика помола представлена на рис. 1.

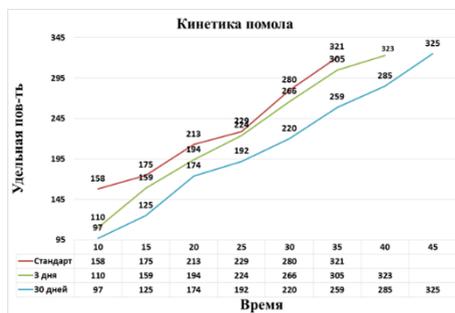


Рис. 1 Кинетика помола

По результатам выполненной работы можно заключить, что не все отходы годятся для использования как сырьевой материал. Тем не менее, схожесть химического состава отходов и портландцементного клинкера позволяет использовать их в качестве сырьевого компонента (глинистого) исключительно при условии внесения необходимых изменений в состав сырьевой смеси путем добавления железистых или известковых добавок [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутт Ю.М. Технология цемента и других вяжущих материалов / Ю.М. Бутт// -М.: Стройиздат, 1976. С. 407.
2. Бутт Ю. М. Практикум по технологии вяжущих материалов / Ю. М. Бутт. – М.: Высш. шк. , 1973. – 503 с.
3. Миронов В.А. Оптимизирование композиций для изготовления строительных смесей: Научное издание / В.А. Миронов, В.В. Белов, А.И. Голубев, М.А. Смирнов. СПб: РИА «Квинтет», 2008. 416 с.
4. Таймасов Б.Т.. Технология производства портландцемента: Учеб. пособие. – Шымкент, Изд-во ЮКГУ, 2003. - 297 с.
5. Классен В.К. Техногенные материалы в производстве цемента: монография/В.К. Классен, И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов; под общ. ред. В.К. Классена. –Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. –126 с.

УДК 666.94.015.427

Исаева А.С., Вакуленко Д.А.

*Научный руководитель: Головизнина Т.Е. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВЛИЯНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО КЛИНКЕРА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТИКОВОГО ОТХОДА ДЛЯ ЧАСТИЧНОГО ТОПЛИВОЗАМЕЩЕНИЯ ПОДАЧЕЙ В ЗОНУ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ

Применение при производстве цемента выгорающих техногенных материалов значительно снижает расход основного форсуночного топлива. Существует несколько способов применения топливосодержащих отходов при производстве.

Мы рассмотрим использование выгорающей добавки при подаче в зону декарбонизации во вращающуюся печь мокрого способа производства.

Для исследования был взят пластиковый отходы «АО Курского Электроаппаратного завода» и сырьевой шлам ЗАО «Белгородский цемент», с заданным химическим составом (Табл. 1).

Таблица 1 - Химический состав сырьевого шлама ЗАО «Белгородский цемент»

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	Na ₂ O	K ₂ O	ППП
13,96	3,32	2,98	43,09	1,32	0,12	0,52	0,26	0,40	34,41

На рисунке 2 представлена рентгенограмма клинкера, синтезированного как модель частичной замены топлива на отход пластика при подаче в зону декарбонизации.

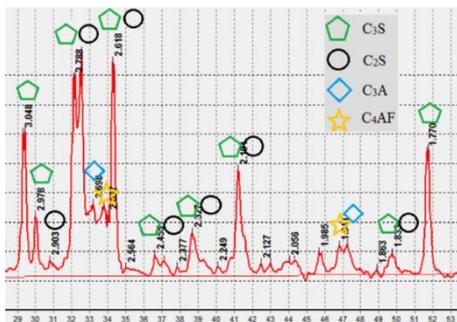


Рис.2 Фрагмент дифрактограммы клинкера с добавкой пластика.

В соответствии с данными рентгенофазового анализа в составе клинкера идентифицированы следующие минералы:

C3S – $d = 3,048; 1,77; 2,978; 2,788; 2,751; 2,618; 2,191; 2,377; 2,455; 1,833 \text{ \AA}$

C2S – $d = 2,903; 2,191; 2,978; 2,788; 2,751; 2,618; 2,377; 2,455; 1,833 \text{ \AA}$.

C3A – $d = 2,706; 1,924 \text{ \AA}$.

C4AF – $d = 2,659; 1,941 \text{ \AA}$.

По Данным рентгенофазового анализа, использование пластикового отхода при частичном топливозамещении при вводе его в зону декарбонизации не оказывает значимого влияния на фазовый состав клинкера.

Из продуктов обжига был изготовлен цемент путем измельчения в металлической, а затем в фарфоровой ступках до удельной поверхности $370 \text{ м}^2/\text{кг}$ с добавкой 5% гипса. Гидравлическую активность синтезированных клинкеров устанавливали по пределу прочности на сжатие малых образцов размером $1,41 \times 1,41 \times 1,41 \text{ см}$ из цементного теста с водоцементным отношением $V/C=25\%$.

По истечению сроков хранения: 2, 7 и 28 суток образцы подвергли испытанию на сжатие (Табл. 2).

Таблица 2 - Влияние добавки пластика при частичном топливозамещении добавлением пластика в зону декарбонизации на гидравлическую активность клинкеров

Клинкер	2 суток	7 суток	28 суток
	Прочность при сжатии, МПа		
Без добавок	27	60	75
С добавкой пластика	29	56	72

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что частичное топливозамещение на пластик, путём подачи отхода в зону декарбонизации не оказало негативного воздействия на гидравлическую активность цемента.

Оценивая полученные результаты, можно сделать вывод что, ввод отхода в зону декарбонизации не снижает гидравлической активности клинкера, позволяя уменьшить расход основного форсуночного топлива.

Использование пластиковых отходов для частичного топливозамещения позволит безвредно переработать отходы и уменьшить удельный расход невозобновляемого топлива на обжиг клинкера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полипласт. Промышленная Химия [Электронный ресурс]: Использование альтернативного топлива в производстве цемента. – URL: <https://dzen.ru/a/Y8D-a0haPkJfGzIb> (дата обращения: 08.05.2023)
2. Классен В.К. Техногенные материалы в производстве цемента: учебное пособие / В.К. Классен, И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов; под общ ред. В.К. Классена. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 126 с.
3. Использование различных горючих отходов в производстве цемента / О.В. Мирошникова, И.Н. Борисов. – Текст непосредственный // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2018. – № 7. – С. 71-75.

Калинина К.М.

*Научный руководитель: Коновалов В.М., канд. техн. наук, доц.**Белгородский государственный технологический университет**им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***ТЕРМОАКТИВАЦИЯ СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТА**

В цементной промышленности актуальной задачей является усовершенствование тепломассообмена в печных агрегатах уже существующих конструкций. Данные процессы используются с целью снижения энергозатрат на производимую продукцию. Интенсификация процесса клинкерообразования термохимическими методами (выбором режима нагрева и охлаждения) является одним из методов, который относится к энергосберегающим технологиям. Было установлено, что путем целенаправленного термического воздействия на карбонат кальция, можно ускорить процессы минералообразования при получении портландцементного клинкера [1,2]. Осуществляется данный процесс за счёт изменения морфологии, строения и свойств извести. Такими термохимическими методами, как режим нагрева и использование модификаторов, возможно интенсифицировать процесс клинкерообразования при производстве портландцемента.

В работе использовалась готовая сырьевая смесь Себряковского цементного завода. Содержание оксида кальция в данной смеси составляет 43,9% (см. таблицу).

Таблица 1 – Химический состав сырьевой смеси, %

Оксид	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п
Сырьевая смесь	13,0	3,7	2,8	43,9	0,87	0,53	0,2	33,2

Химический состав сырьевой смеси оказывает значительное влияние на скорость реакций, которые протекают при обжиге клинкера, а также влияет на длительность процесса клинкерообразования. Процессы клинкерообразования происходят при температурах 1300-1450°C, в присутствии значительного количества жидкой фазы. Для оценки влияния термического воздействия на карбонатные породы используется «резкий» и двукратный обжиг в печи, при температурах 1100-1300°C [2]. При обычном обжиге, в контрольном образце,

формирующиеся частицы оксида кальция имеют рыхлое строение, округлые формы которых имеют четкие, ровные границы.

При термоударе (резкий обжиг) образуется CaO, который не имеет четко сформированную стабильную кристаллическую решетку. Образующийся CaO имеет меньшую плотность и повышенную удельную поверхность, по сравнению с CaO, который получается в результате постепенного обжига карбонатного компонента [3,4].

Когда производится повторный предварительный обжиг, происходят процессы рекристаллизации, которые приводят к уплотнению структуры оксида кальция, не имеющего четко сформированную кристаллическую решетку, что ускоряет диффузионные процессы в системе твердое-твердое. То есть термомодифицированный оксид кальция имеет полидисперсный состав, появляются мелкие кристаллики (1-3 мкм) и более крупные частицы (20-30 мкм). Поверхность частицы CaO и ее структура меняются, увеличивается химическая поверхность взаимодействия, что ускоряет взаимодействие с SiO₂ и синтез белита, а также увеличивается количество центров кристаллизации алита [5-7].

Обжиг сырьевой смеси осуществлялся в лабораторных условиях. При этом производилось разделение сырьевой смеси на порции по 150г, каждая из которых предварительно обжигалась при температурах 1100°C, 1200°C, 1300°C соответственно. Далее часть продуктов обжига обжигались повторно (осуществлялся двукратный обжиг) при температурах 1100°C, 1200°C, 1300°C и после этого проводился окончательный обжиг при температуре 1450 °C. Контрольная смесь подверглась обычному обжигу в печи при температуре 1450°C с тридцатиминутной изотермической выдержкой. Образцы спеков подвергались рентгенофазовому (ДРОН-3) и микроскопическому анализам (аншлифы, микроскоп NU-2)

Предварительные обжиги изменяют фазовый состав исходной сырьевой смеси. При 1000 °C на дифрактограммах спеков фиксируются фазы белита и А-Ф фазы. Интенсивность характеристических отражений CaO термомодифицированных сырьевых смесей оказывается выше (Рис. 1), чем у спеков постепенного обычного обжига при той же температуре, что свидетельствует о лучшей закристаллизованности оксида кальция, при схожем фазовом составе с продуктами постепенного обжига при такой же температуре. Наличие плотных кристаллических частиц CaO смещает процесс силикатообразования в область более высоких температур. Однако присутствие затравок двухкальциевого силиката, образующихся при рекристаллизации оксида кальция вследствие прерывания роста

кристаллов при постепенном нагреве, приводит в результате к быстрому растворению фазы белита в клинкерном расплаве и массовой кристаллизации фазы алита с полным связыванием CaO в силикаты при окончательной температуре обжига.

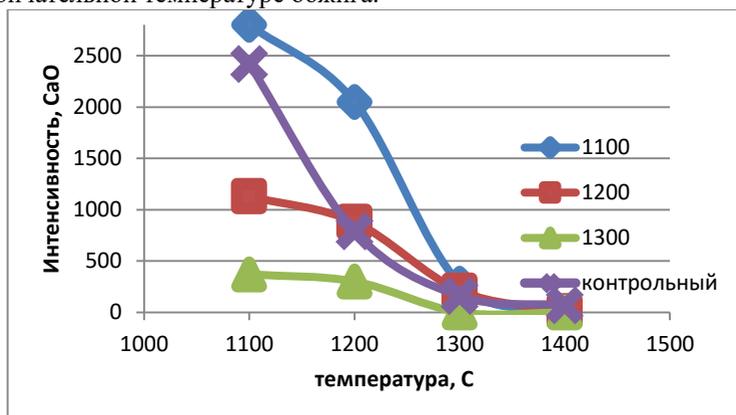


Рис 1. Изменение интенсивности усвоения CaO

Обращает на себя внимание предварительный двукратный обжиг при 1300 °С, в спеках которого при этой температуре реакции силикатообразования полностью завершились. На (рис.2) Приведены зависимости характеристических отражений фазы алита ($d=0.1765$ nm) в спеках, обожженных при различных условиях термического воздействия.

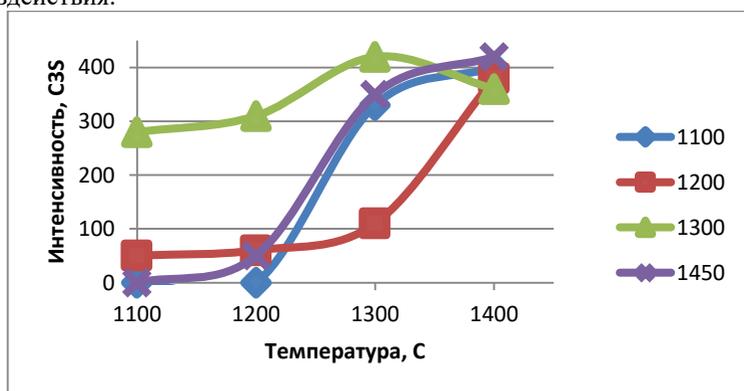


Рис.2 Изменение интенсивности отражения $d=0.1765$ nm.

При температуре 1300 °С отмечается наибольшая интенсивность в контрольном составе и смесях, подвергнутых предварительному

двукратному обжигу при температурах 1100 и 1300 °С. Обжиг, же состава при 1450 °С, где практически полностью завершились реакции минералообразования (Рис.2, в) ведет к разрушению алита.

На микрофотографиях опытных клинкеров (рис 3), наблюдается кристаллизация алита, который представлен мелкими кристалликами размером 5-20мкм. Такая кристаллизация характерна для быстротвердеющих вяжущих. На рис. 3 –б) и 3-в), наблюдается нечеткая кристаллизация, много сростков и скоплений алита. Белит не прослеживается. В промежуточном веществе фиксируются темные участки, прослеживается большее содержание алюмоферритов, чем алюминатов. Обжиг контрольного образца при температуре 1450°С (рис. 3-г) фиксирует более четкую кристаллизацию минералов и больше промежуточного вещества. Клинкер преимущественного алитовый.

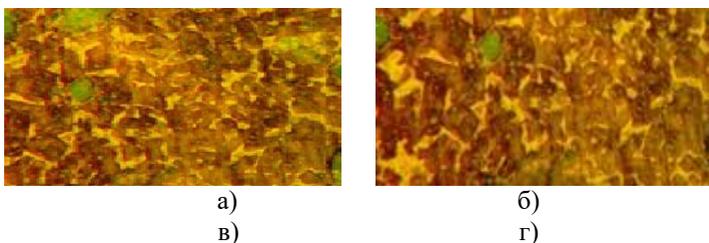
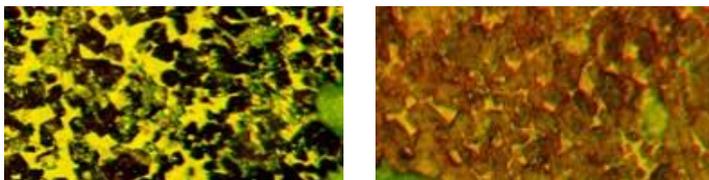


Рис 3. Микроструктура клинкеров Х600, полученных в результате предварительных двукратных обжигов: а) - при 1100 °С; б)- при 1200°С ; в)- 1300 °С; г) – контрольный

В промежуточном веществе фиксируются кристаллы алюминатной фазы, преимущественно C_3A , в виде темного вещества неопределенной формы и алюмоферритная фаза- C_4AF /



Предварительное термическое воздействие на сырьевые смеси, в зависимости от выбранной температуры изменяет минералогический состав перед завершающим обжигом. При двукратном обжиге известь рекристаллизуется, формируя микроструктурные фазы, что ускоряет диффузионные процессы при взаимодействии с оксидом кремния. В то же время полидисперсный состав, при наличие крупных

кристаллических образований смещает сикатообразование в область более высоких температур.

Предварительные обжиги смесей при 1100 и 1300 °С обеспечивают полное связывание оксида кальция формируя при этом большее количество силикатов, за счет снижения доли А-Ф фазы.

При изучении минералогического состава клинкера под микроскопом установили, что при двукратных обжигах 1100-1450°С наблюдается достаточно четкая кристаллизация алита, алит мелкокристаллический. При обжигах при температурах 1200-1450°С и 1300-1450°С наблюдается нечеткая кристаллизация алита, много сростков. Во всех случаях предварительные обжиги увеличивают содержание силикатной составляющей. При этом алит имеет преимущественно модификацию М³.

При обжиге контрольного образца наблюдается четкая кристаллизация алита, и повышенное содержание промежуточного вещества, что говорит о возможной повышенной активности клинкера.

Для окончательного вывода по применению предварительного обжига сырьевых смесей необходимо продолжить исследования и уточнить физико-механические свойства твердеющего вяжущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коновалов В.М., Акуликина М.А. Термомодифицирование портландцементной сырьевой смеси//Цемент и его применение 2009. №5. С.102-105

2. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений: Учеб. для вузов по спец. «Хим. технология тугоплав. неметал. и силикат. материалов. В.С. Горшков, В.Г. Савельев, Н.Ф. Федоров. - М.: Высш.шк. -1988. -400 с.: ил.

3. Осокин А.П., Кривобородов Ю.Р., Потапова Е.Н. Модифицированный портландцемент/ Моск. химико-технологич. ин-т им. Д.И. Менделеева-М.: Стройиздат, 1993. -328 с.: ил.

4. Лугинина И.Г., Коновалов В.М. Цементы из некондиционного сырья. Новочеркасск: Уч.-изд.,1994.232 с.

5. Бутт Ю.М. и Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. Учебное пособие для химико-технологических специальностей вузов М., «Высш.школа»,1973.

6. Классен В.К. Обжиг цементного клинкера: монография / В.К. Классен. - Красноярск: Стройиздат, -1994. -323 с.

Кацко А.В.

*Научный руководитель: Мишин Д.А. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

АКТИВАЦИЯ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕМЕНТОВ

В металлургии и литейной промышленности создается огромное число шлаковых продуктов, которые являются побочными в процессе производства стали, чугуна и металла. Шлаки формируются в очень больших количествах и представляют собой один из самых значимых отходов, если их не перерабатывать надлежащим образом.

Практически каждый отход производства можно использовать в качестве вторичного материала или ресурса в производственных целях. Отходы могут частично или полностью заменить традиционные исходные виды сырья. К примеру, шлаки очень похожи по своим химическим и физическим свойствам к изверженным горным породам, поэтому их можно с большим успехом применять в производстве строительных материалов. Шлаки с современных заводов по производству и выплавке металлов часто не складировуют, а специально перерабатывают в полупродукт для дальнейшей продажи индивидуальному потребителю. И при этом их не отправляют на полигоны, а сразу используют, что положительно влияет на экологию. Таким образом почти полностью можно исключить вредоносное влияние на окружающую среду отходов промышленности. [1]

Что касается цементной промышленности, то практически все шлаки могут достаточно успешно утилизироваться при производстве её основного продукта цемента. Основное использование шлаков в цементной промышленности – это использование шлаков как активные минеральные добавки. Шлак, в целом, снижает себестоимость цемента, так как при его использовании происходит уменьшение клинкерной составляющей. Но не все шлаки можно так использовать. Экономическая эффективность использования доменного шлака в производстве шлакопортландцемента значительна: на 40 - 50 % дешевле портландцемента [2].

К сожалению, на фоне всех положительных качеств шлаков не могут не присутствовать отрицательные стороны этого продукта. К такому нежелательному свойству относят модификационный переход ортосиликата кальция из β -формы в γ -форму. Этот переход происходит

при медленном охлаждении отхода, и β -форма успевает перейти в менее реакционноспособную γ -форму. γ -форма является гидратационно инертной. Поэтому шлаки, имеющие γ -форму, зачастую не используют. В большинстве своём их вывозят в отвал и на полигоны. Такие меры приводят к уменьшению количества плодородных участков земли и категорически ухудшают экологическую ситуацию повсеместно. [3]

В качестве материалов использовался цемент ПЦ 500-Д0, ООО «Южно-уральская ГПК» г. Новотроицк и цемент производства ЗАО «Белгородский цемент». Химический состав представлен в таблице 1, характеристики цемента и минералогический состав представлены в таблице 2. Также использовался доменный гранулированный шлак Череповецкого металлургического комбината и шлак ОЭМК, химический состав представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав материалов

Материал	CaO, %	SiO ₂ , %	Al ₂ O ₃ , %	Fe ₂ O ₃ , %	MgO, %	Суд, %
Цемент ООО «Южно-уральская ГПК»	65,87	21,82	4,56	4,26	3,72	382
Цемент ЗАО «Белгородский цемент»	66,07	22,78	4,30	4,47	2,38	400
Шлак Череповецкого МК	31,69	38,3	11,84	0,87	14,18	388-408
Шлак ОЭМК	38,13	35,57	8,11	1,56	16,63	400

Таблица 2 – Минералогический состав цементов

Материал	C ₃ S, %	C ₂ S %	C ₃ A, %	C ₄ AF, %	CaO _{св} , %
Цемент ООО «Южно-уральская ГПК»	62,43	15,45	4,86	12,95	0,79
Цемент ЗАО «Белгородский цемент»	65,62	14,78	5,89	12,30	0,41

По рентгенофазовому анализу цемента) идентифицированы основные клинкерные минералы: основные отражения C₃S – 3,033; 2,780; 1,756 Å, C₂S – 3,87; 1,977 Å, C₃A – 6,046; 2,652; 1,824 Å, C₄AF – 7,344; 2,611; 1,929 Å. Также идентифицирован ангидрит – CaSO₄ – 3,506 Å.

По рентгенофазовому анализу шлака идентифицированы минералы: β - C_2S – 3,826; 2,871; 2,734 Å, γ - C_2S – 5,609; 3,074; 1,625 Å. Также идентифицирован периклаз MgO – 2,115; 1,486 Å [4].

В таблице 3 приведены результаты испытаний с использованием ПЦ 500-Д0, ООО «Южно-уральская ГПК» г. Новотроицк, и шлака Череповецкого металлургического комбината.

Таблица 3 – Результаты прочности образцов с различным содержанием компонентов

№ смеси	Соотношение цем/шлак/изв.	2 сутки, МПа	7 сутки, МПа	28 сутки, МПа	Суд. шлака, м ² /кг
1	100/0/0	57	70	80,4	-
2	99/0/1	60,2	68	78,5	-
3	34/66/0	21,3	32	40	400
4	33/66/1	19,2	27	34	400
5*	34/66/0	23,2	31	43	400
6*	33/66/1	18,4	34	42	400
7*	33/66/2	15	24	41	400

*-использовалась добавка при помоле шлака

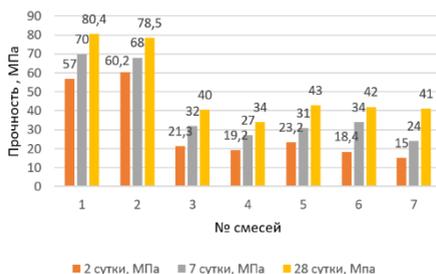


Рис. 1. Прочность образцов на различные сутки твердения

В таблице 4 приведены результаты испытаний с использованием ПЦ 500-Д0, ЗАО «Белгородский цемент», и шлака ОЭМК.

Таблица 4 – Результаты прочности образцов с различным содержанием компонентов

№ смеси	Соотношение цем/шлак/доб.	2 сутки, МПа	7 сутки, МПа	28 сутки, МПа	Суд. шлака, м ² /кг
1	100/0/0	54	68	78	-
2	34/66/1,5	8,7	19,8	37	400
3	34/66/2	7,6	17,2	33	400
4*	34/66/1,5	4,2	12,3	27	400
5*	34/66/2	3,8	11,2	23	400
*-испытания проводились по ГОСТ 30744-2001					

Из результатов, которые приведены в таблице 3, сравнивая образцы под номером 3 и 5, можно сделать вывод, что благодаря добавке при помоле шлака удалось увеличить активность на 7,5% по сравнению с образцом без использования добавки (образец №3). Более показательная разница наблюдается при сравнении образцов 4 и 6. В данном случае увеличение активности составляет 23,5% по сравнению с бездобавочным образцом.

Сравнивая показания прочности, занесённые в таблицу 4, можно заметить увеличение прочности образца 3 по сравнению с образцом 2 (≈12%). Однако заметны низкие прочностные показатели образцов 4 и 5, проходивших испытания согласно ГОСТ 30744-2001. Это подводит нас к дальнейшей коррекции процентного соотношения компонентов и вводимой добавки, что является следующим шагом в исследовательской работе.

По полученным результатам можно сделать вывод, что ввод силиката натрия при помоле шлака является эффективным методом увеличения активности цемента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусаров В.М. Вторичная переработка. Москва: Аудит. Юнити. 1998. 247 с.
2. Классен В.К., Текучева Е.В., Дроздов А.А. Эффективность использования электросталеплавильных шлаков в качестве сырьевого

компонента для производства цемента // Техника и технология силикатов. 2006. №4. 7-15 с.

3. Шмитько Е.И., Крылова А.В., Шаталов В.В. Химия цемента и вяжущих веществ: учебн. Пособие: Воронеж. гос. арх.- строит. ун-т. Воронеж. 2005. 164 с.

4. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. – Москва: Высшая школа, 1981.335 с.

5. Классен В. К. Техногенные материалы в производстве цемента: учебное пособие / В. К. Классен, И. Н. Борисов, В. Е. Мануйлов; под общ ред. В. К. Классена. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 126 с.

6. Борисов И. Н. Особенности процессов минералообразования при обжиге цементного клинкера с использованием медеплавильного шлака.// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. № 2. С.11-13.

УДК 004.932.2

Киященко В.В.

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЯХ

Исследование посвящено разработке и применению методов анализа изображений для распознавания дефектов в композиционных покрытиях. Эти покрытия широко применяются в промышленности, включая обсадные трубы, насосные штанги, трубопроводы и корпуса на нефтеперерабатывающих заводах. Особенно важно обеспечить высокое качество покрытий, используемых в армировании буровых долот, где даже мелкие дефекты могут привести к серьезным последствиям.

Проект представляет собой сочетание материалов и технологий, которые позволяют улучшить процесс контроля качества покрытий в промышленности. Целью исследования является разработка и применение методов анализа изображений для оценки качества композиционных покрытий. Объект исследования – хромалмазные композиционные покрытия, наносимые методом детонационного напыления (Рис. 1).



Рис. 1 Пример исследуемых хромокарбидных покрытий

Традиционные методы контроля качества, основанные на экспертной оценке, имеют ряд ограничений, включая ограничения в выявлении дефектов, трудоемкость и высокие затраты времени, невозможность автоматизации и объективности оценки [1]. Данная работа предлагает новое решение на основе применения методов анализа изображений, которые позволяют более эффективно и надежно выявлять дефекты в композиционных покрытиях. Методы анализа изображений обеспечивают увеличение точности дефектоскопии, а именно позволяют обнаруживать дефекты с высокой точностью, включая мелкие дефекты и дефекты с нерегулярными формами, что часто недоступно для традиционных методов [2]. Благодаря автоматизации процесса анализа изображений существенно сокращается время, необходимое для контроля качества, что особенно важно для высокопроизводительных производств. Использование методов анализа изображений исключает субъективное влияние оператора и обеспечивает одинаково высокий уровень оценки качества для всех образцов [3].

Для распознавания дефектов в композиционных покрытиях используются современные методы анализа изображений, такие как определение границы объекта. Этот метод позволяет выявлять контуры объектов на изображениях, что позволяет точно определить форму и размер дефектов в композиционных покрытиях. Выделение границы позволяет выделять и подсвечивать границы объектов на изображениях, что помогает выявлять дефекты и отличать их от нормальных участков покрытий, а подсчет площади объекта интереса используется для вычисления специфической поверхности дефектов, что помогает оценить их размер и характеристики с точностью. Эти методы позволяют точно определить местоположение и размер дефектов, что

делает процесс контроля качества более эффективным и надежным.

Данное исследование показывает, что применение методов анализа изображений для распознавания дефектов композиционных покрытий является эффективным подходом к контролю качества. Анализ покрытий начинается со сбора данных (Рис. 2). Процесс работы с набором изображений состоит из трёх основных этапов (Рис. 3).

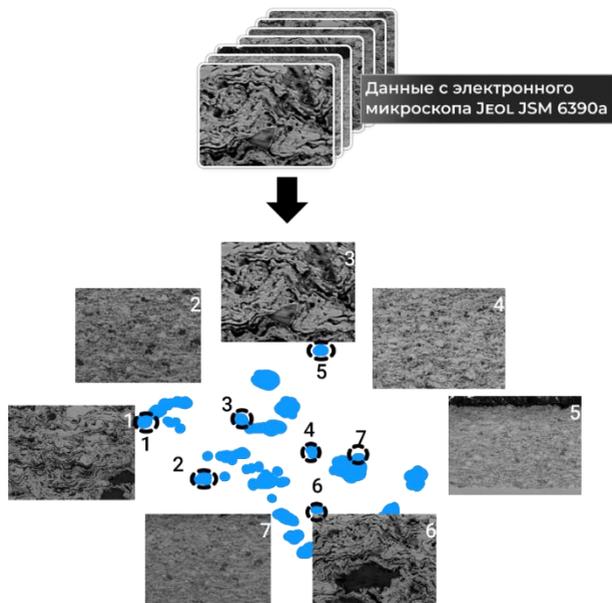


Рис. 2 Сбор данных СЭМ-снимков разных визуальных проявлений композиционного материала

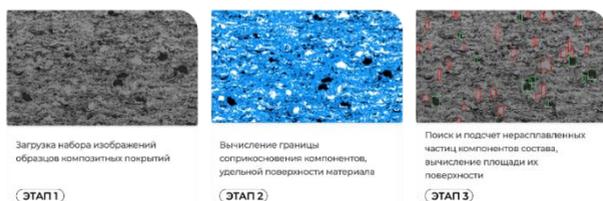


Рис. 3 Этапы применения методов анализа изображений

Также разработана модель процесса разработки композиционных материалов, которая позволяет оптимизировать процесс производства и разработки новых составов покрытий, повышая качество продукции (Рис. 4).



Рис. 4 Модель процесса разработки композиционных материалов

Результаты данного исследования могут быть полезны для промышленных предприятий, занимающихся производством композиционных покрытий, а также для научных исследований в области материаловедения и технологии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания (тема № АААА-А12-2110800012-0).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рустамова, Д.Ф. Применение статистических методов в контроле и диагностике качества электротехнических материалов / Д.Ф. Рустамова // Научный альманах. – 2020. – № 9-2(71). – С. 58-60.
2. D’Orazio, T. Analysis of Image Sequences for Defect Detection in Composite Materials / T. D’Orazio, M. Leo, C. Guaragnella // Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems. — 2007. — № 4678. — 855-864.
3. Gądek-Moszczak, A. (2023). On the Role of Image Processing Techniques in the Quantitative Image Analysis. / A. Gądek-Moszczak // System Safety: Human - Technical Facility - Environment. . – 2023. № 5. . — 311-317.

Колесова А.С., Дудина Е.И., Смагина А.Р.

*Научный руководитель: Перетоккина Н.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА

Металлургический шлак – это побочный продукт, который образуется при выплавке металла в промышленных печах. В традиционных условиях шлак считается отходом, который требует специальной обработки и утилизации. Однако, последние исследования показывают, что использование металлургического шлака в процессе производства клинкерного кирпича может быть перспективным и экологически эффективным решением [1].

Клинкерный кирпич – это строительный материал, получаемый путем обжига глины при высоких температурах. Он отличается высокой прочностью, долговечностью и огнестойкостью, что делает его популярным выбором для строительных проектов. Классический процесс производства клинкерного кирпича требует большого количества глины и природных ресурсов, что может негативно сказываться на окружающей среде.

Данная работа посвящена возможности получения клинкерного кирпича с использованием металлургического шлака Выксунского завода.

В процессе приготовления массы и подготовке образцов к испытаниям за основу была взята глина Русиновского месторождения, а также побочный продукт Выксунского металлургического завода, входящий в группу АО «ОМК-Сталь» (г. Выкса, Нижегородская область) – электросталеплавильный шлак.

В настоящее время рассматриваемый отход практически не используется и подлежат складированию в шхакохранилище, создавая неблагоприятные условия для окружающей среды, его объем образования составляет более 160 тыс. т/год.

Химический состав Русиновской глины представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав глины

Русиновская глина	Содержание компонентов, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	R ₂ O
	60,0	26,0	0,2	1,5	0,6	2,8

Химический состав Выксунского шлака представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав шлака

Содержание компонентов, %								
CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	Cr ₂ O ₃	Na ₂ O	P ₂ O ₅
35,4	25,8	17,06	8,9	6,4	3,6	1,12	0,69	0,31
TiO ₂	SO ₃	Cl	V ₂ O ₅	BaO	SrO	WO ₃	CuO	K ₂ O
0,198	0,176	0,094	0,081	0,065	0,03	0,027	0,019	0,01
CO ₃ O ₄	NiO	ZnO						
0,009	0,004	0,003						

В соответствии с федеральным классификатором отходов (ФККО-2014) шлак относится к малоопасным отходам («Шлаки сталеплавильные», код отхода 3 51 210 21 20 4) [2-3].

Из глины и шлака готовились массы для пластического формования образцов. Составы исследуемых масс представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Состав экспериментальных масс

Материал	Номер состава			
	1	2	3	4
	Содержание компонентов, %			
Глина Русиновская	100	95	90	85
Шлак Выксунский	0	5	10	15

Навеску сухой просеянной через сито № 1 глины смешивают с водой до образования густой пластичной массы. Массу выдерживают в течение 24 ч, накрыв увлажненной тканью, затем массу отбивают, раскатывают в пласт и формуют образцы размером 30x30x30 мм. Далее аналогично приготовили массы с различным количеством шлака.

Сушка образцов проводилась на воздухе в течение суток, затем досушка в сушильном шкафу при 105...110 °С в течение 1ч до остаточной влажности W = 3-5%.

Обжиг ведется до признаков пережога. Подъем температуры производится со скоростью 3 °С/мин, (ГОСТ 2409-2014) [4].

Качество обожженных образцов оценивалось по внешнему виду и основным физико-механическим показателям, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 - Физико-механические показатели образцов

№ образца	Температура, °С	Водопоглощение, %	Пористость, %	Плотность кажущаяся, г/см ³	Прочность на сжатие, кгс
1	1000	15,5	28,8	1,8	3440
2		15,8	30,5	1,9	3500
3		12,7	24,8	1,9	2000
4		14,3	26,9	1,8	2500
1	1100	8,5	17,3	2,0	5240
2		7,5	16,0	2,1	4100
3		6,9	14,4	2,0	6200
4		8,3	17,0	2,0	3200
1	1200	0,8	1,8	2,2	11040
2		2,5	5,8	2,2	6100
3		0,6	1,4	2,2	7700
4		1,7	3,7	2,1	5600

Используя результаты расчетов, построили графики зависимостей основных физико-механических свойств от состава масс при различных температурах обжига (рис. 1-4).

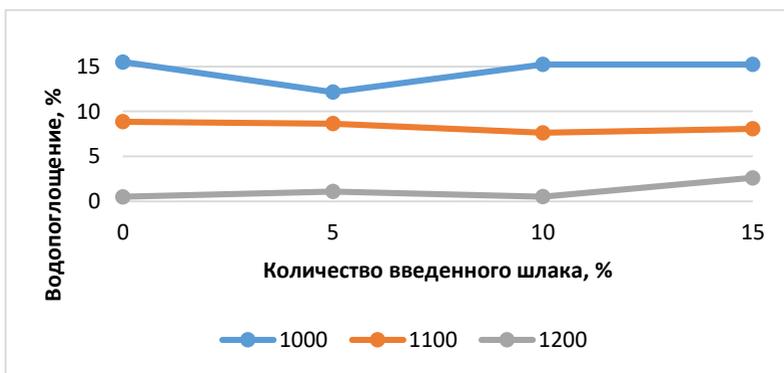


Рис. 1. Зависимости водопоглощения массы с Выксунским шлаком от его количества в массе при различных температурах обжига

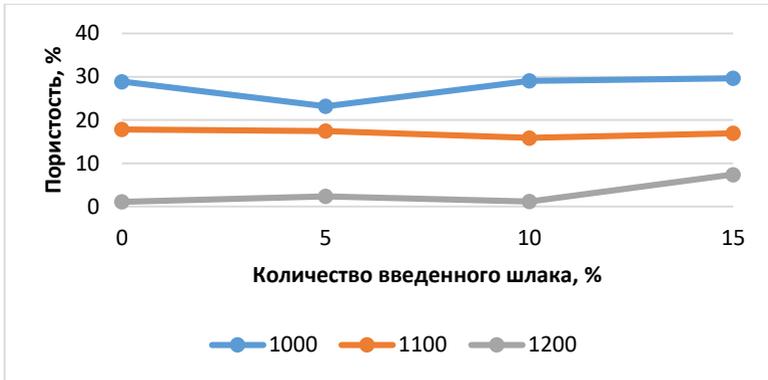


Рис. 2. Зависимости пористости массы с Выксунским шлаком от его количества в массе при различных температурах обжига

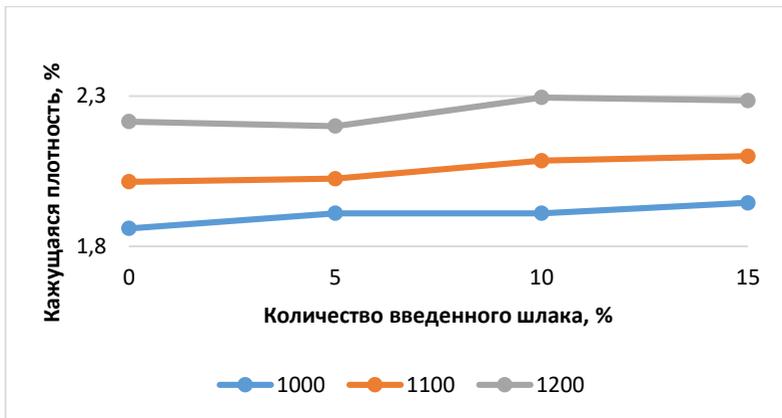


Рис. 3. Зависимости кажущейся плотности массы с Выксунским шлаком от его количества при различных температурах

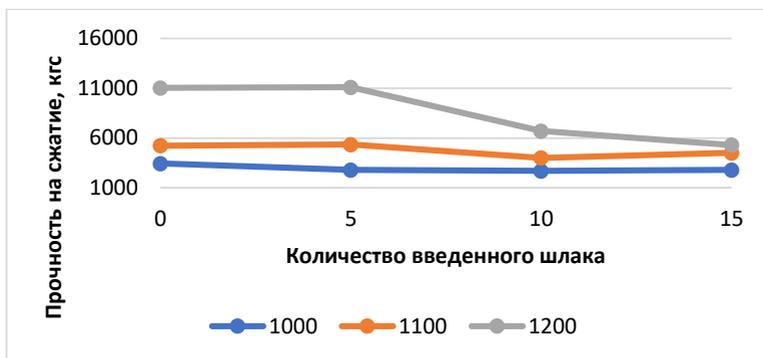


Рис. 4. Зависимости прочности на сжатие с Выксунским шлаком от его количества при различных температурах.

Исходя из исследований, можно сделать вывод, что использование металлургического шлака в процессе производства клинкерного кирпича предлагает несколько преимуществ.

1. Это позволяет утилизировать отходы металлургической промышленности и снизить негативное воздействие на окружающую среду.

2. Использование металлургического шлака позволяет улучшить характеристики полученного кирпича. Шлак содержит в себе различные минералы, которые могут способствовать укреплению структуры кирпича и повышению его прочности.

Не смотря на снижение прочностных характеристик использование шлака, способствует решению экологической проблемы его утилизации.

Также можно сделать вывод, что Выксунский шлак подходит для изготовления клинкерного кирпича при температуре обжига 1200 °С и отвечает ГОСТ 32311-2012 [5-6].

Также исследования показали, что возможно получение клинкерного кирпича из Выксунского шлака при температуре обжига 1200°С, соответствующего маркам по прочности - М400, М500, М600, М800, М1000 и удовлетворяющего ГОСТ 530 – 2012 [7-8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Доменные шлаки (свойства, состав, применение): [https://azbukametalla.ru/], 2014 - 2023. – URL: <https://azbukametalla.ru> (дата обращения 20.04.2024).

2. Гаськов В. Р., Стариков В. И. Использование шлаков в строительной керамике. М.: Стройиздат, 2005. – 105 - 201 с.

3. Алексеев Ю. И., Ганичев Р. З., Мень Ш. И. Механизмы керамического вяжущего действия шлаков в строительной керамике. Вестник Московского городского университета. Серия 3: Физика, астрономия, 2010. – 744 - 954 с.

4. Иванов А. А., Ковалева Е. В., Новикова В. Н. и др. Разработка составов масс для керамического кирпича с использованием металлургических шлаков. Сборник научных трудов "Строительные материалы и изделия", 2015. – 13 - 20 с.

5. ГОСТ 323111 – 2012. Кирпич керамический клинкерный для мощения. Межгосударственный стандарт; введ. 2014 – 01 – 07. – Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, 2012.

6. ГОСТ 530 – 2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт. – Взамен ГОСТ 530 -2007; введ. 2013 – 01 – 07. – Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, 2013.

7. Евтушенко Е.И., Перетокина Н.А., Дороганов В.А., Сулейманова Л.А., Сыса О.К. Теплоизоляционные материалы на основе искусственных керамических вяжущих различного состава // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №6. с. 149-151.

8. Череватова А.В., Перетокина Н.А., Ермак Ю.Н. Совершенствование технологии получения жаростойких легковесов с применением модифицированной ВКВС // Промышленное и гражданское строительство, 2007. № 8. – С. 24-25.

УДК 666.3/7

Колесова А.С., Омарова Л.А.

Научный руководитель: Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ TiO_2 НА СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ НА ОСНОВЕ КОРУНДОВОЙ СУСПЕНЗИИ

Корундовые материалы широко используются для производства различных видов технической керамики и огнеупоров [1]. Данные материалы отличаются высоким содержанием оксида алюминия (до 99 %), что способствует формированию структуры с высокими физико-механическими характеристиками [2]. При получении корундовых материалов используют различные технологические приемы с последующим высокотемпературным спеканием при температуре

более 1550 °С [3,4]. Одним из перспективных направлений получения корундовой керамики является материалы на основе суспензии корунда. Корундовая суспензия – это искусственное керамическое вяжущее (ИКВ), полученное путем мокрого помола в шаровой мельнице периодического действия с последующей стабилизацией, путем гравитационного перемешивания [5]. Использование данного вяжущего в сочетании с модифицирующими добавками позволит модернизировать существующую технологию производства корундовых материалов [6].

В связи с выше изложенным целью данной работы является получение ИКВ на основе корунда и исследование влияния содержания модифицирующих добавок на свойства образцов на ее основе. В качестве исходного материалы для получения ИКВ был выбран глинозем марки ГК-0. Суспензию готовили методом мокрого помола в шаровой мельнице периодического действия объемом 0,1 м³ с постатейной догрузкой материала. После помола ИКВ подвергалась стабилизации и были определены основные свойства, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1 Свойства суспензии

Плотность, г/см ³	Время истечения, сек	Влажность, %
2,28	28	23,7

Реологические свойства суспензии представлены на рис. 1.

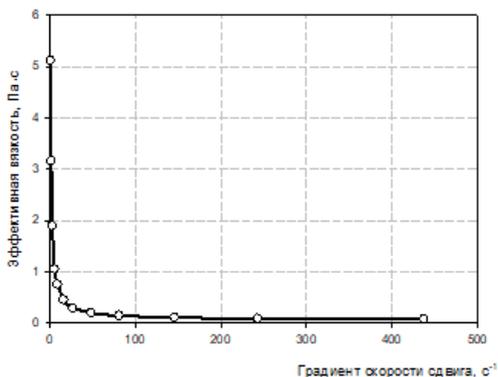


Рис. 1. Зависимость эффективной вязкости от градиента скорости сдвига

Из анализ реологической зависимости следует, что с увеличением градиента скорости сдвига эффективная вязкость снижается, что свидетельствует о тиксотропном характере поведения системы.

Из полученной ИКВ готовились составы с добавлением TiO_2 для формования образцов методом литья в гипсовые формы: 1 состав – 0 % TiO_2 , 2 – 0,5 % TiO_2 , 3 – 1 % TiO_2 . Образцы после формования подвергались сушке при 100-110 °С и последующему обжигу в интервале температур 1400-1600 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. После обжига были исследованы основные физико-механические характеристики, которые представлены на рис. 2-5.

Исследования показали, что при увеличении температуры обжига водопоглощение (рис. 2) составов 1 и 2 уменьшается до минимальных значений, а у состава 3 практически не изменяется. При добавлении 1 % оксида титана минимальное водопоглощение образцов достигается при 1400 °С, а при содержании 0,5% TiO_2 - при 1500 °С, что на 100-200 °С ниже, чем у образцов на основе исходной суспензии без добавки TiO_2 .

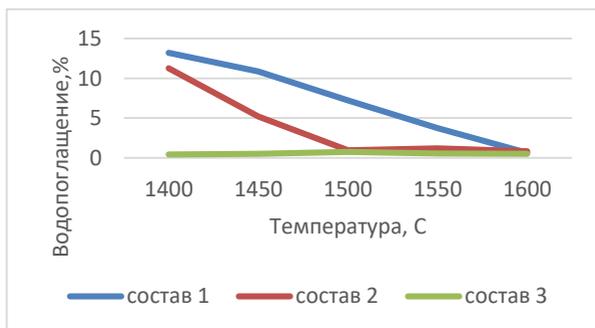


Рис. 2. Зависимость водопоглощения образцов от температуры обжига.

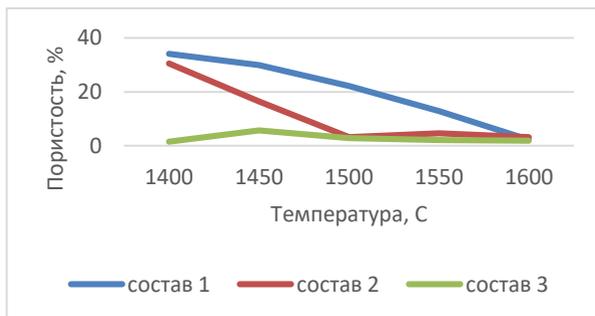


Рис. 4. Зависимость пористости образцов от температуры обжига.

Аналогичная закономерность наблюдается по значениям пористость образцов, изменение которой представлены на рис. 3. Следует отметить, что пористость образцов 3 состава на после обжига при 1400°C характеризуется самым низким значением, а так же просматривается тенденция снижения пористости и у других составов, но при более высоких температурах.

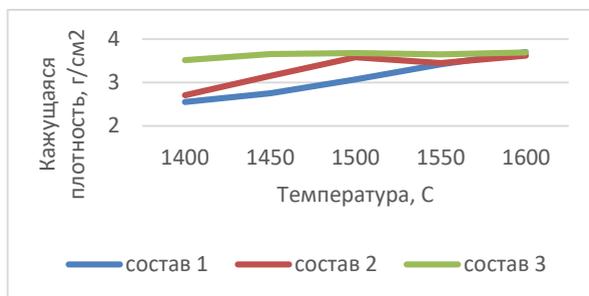


Рис. 3. Зависимость кажущейся плотности образцов от температуры обжига.

Кажущаяся плотность образцов (рис. 4) с с повышением температуры обжига увеличивается у всех составов до максимальных значений. С добавлением оксида титана в количестве 1 % наблюдается максимальное значение кажущейся плотности образцов и почти не изменяются с повышением температуры. У образцов 1 и 2 составов так же наблюдаем увеличение плотности, но уже при более высокой температуре 1600 °С.

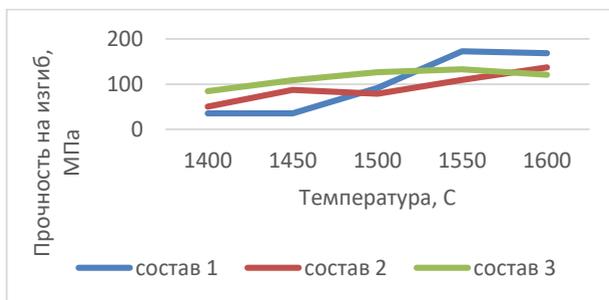


Рис. 5. Зависимость прочности на изгиб образцов от температуры обжига.

С повышением температуры, прочность образцов (рис. 5) увеличивается до максимальных значений 120-170 МПа. Максимальной прочностью отличается исходный состав без добавки TiO₂ при максимальной температуре обжига 1600°C. При добавлении 0,5-1,0 %

TiO₂ в интервале максимальных температур 1450-1500 °С выше чем у исходного состава без TiO₂.

Таким образом, в процессе экспериментальных исследований была выявлена закономерность влияния модифицирующей добавки TiO₂ на основные физико-механические характеристики образцов на основе ИКВ глиноземистого состава. Анализ полученных данных показал, что оптимальным содержанием оксида титана, которое уменьшает пористость образцов, является 1%. При этом изделия обладают хорошими показателями, в том числе прочностью 132 МПа, кажущаяся плотностью 3,7 г/см³ и пористость не более 2 %. Данная система может быть использована в качестве вяжущего для получения корундовых композиционных материалов различного назначения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашеев, И. Д. Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кашеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М. : Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
2. Кашеев, И. Д. Свойства и применение огнеупоров / И. Д. Кашеев. — М. : Теплотехник, 2004. — 352 с.
3. Тюлькин, Д. С. Сравнительный метод испытания огнеупоров на деформационные явления при высоких температурах / Д. С. Тюлькин, В. А. Богданов, П. М. Плетнёв // Сб. тр. Всероссийской научно-практической конференции «Качество и инновации — основа современных технологий», г. Новосибирск, 2012. — С. 144–151.
4. Тюлькин, Д. С. Огнеупоры для производства технической керамики / Д. С. Тюлькин, П. М. Плетнев, Ю. К. Непочатов // Вестник СГУПС. — 2014. — № 30. — С. 111–119.
5. Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гуман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С. Химическая технология керамики. М.: ООО РИФ "Строиматериалы", 2012. 496 с.
6. Гавшина О.В., Дороганов В.А., Евтушенко Е.И. Разработка состава масс для производства керамобетонов корундового состава // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. №2 (33). Часть 1. С. 31 – 33.

Колесова А.С., Омарова Л.А.

*Научный руководитель: Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КОРУНДОВОЙ СУСПЕНЗИИ

Композиционные материалы на основе корундовой суспензии являются одним из самых инновационных разработок в области материаловедения [1]. Их уникальные свойства и возможности применения делают их незаменимыми во многих сферах научных исследований и промышленности [2,3].

Композиты - это материалы, состоящие из двух или более различных компонентов, которые объединены вместе с целью получения оптимальных свойств. В композитах на основе корундовой суспензии, корундовые частицы служат усилителем, а связующий материал играет роль матрицы, в которой находятся частицы [3,4]. Основное преимущество композиционных материалов на основе корундовой суспензии - высокая прочность и твердость [5]. Корунд, будучи одним из самых твердых материалов, усиливает матрицу и придает композиту высокую механическую прочность. Такие материалы обладают отличной износостойкостью, что делает их идеальными для использования в условиях высоких нагрузок и трений [6,7].

В связи с выше изложенным целью данной работы является получение композиционных материалов на основе корундовой ИКВ и исследование влияния содержания добавок на свойства образцов на ее основе. В качестве исходного материала для получения ИКВ был выбран глинозем марки ГК-0. Суспензию готовили методом мокрого помола в шаровой мельнице периодического действия объемом 0,1 м³ с постатейной догрузкой материала. В качестве заполнителя был выбран корунд фракции 0,1-1 мм и 1-3 мм.

Из полученной ИКВ готовились составы с добавлением заполнителя и TiO₂ для формования образцов методом вибропрессования: 1 состав – 0 % TiO₂, 2 – 0,5 % TiO₂, 3 – 1 % TiO₂. Образцы после формования подвергались сушке при 100-110 °С и последующему обжигу в интервале температур 1400-1600 °С с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. После обжига были

исследованы основные физико-механические характеристики, которые представлены на рис. 1-5.

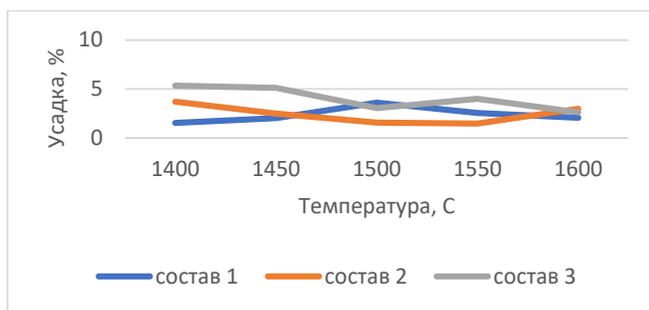


Рис. 1. Зависимость усадки образцов от температуры обжига.

Исследования показали, что при увеличении температуры обжига усадка составов 1 и 3 постепенно снижается, а у состава 2 можно наблюдать резкое снижение усадки при меньших температурах. При добавлении 1% оксида титана минимальная усадка образцов достигается при 1600 °С, а при содержании 0,5 % TiO_2 при 1550 °С, что на 50 °С ниже, чем у образцов вышеперечисленных составов.

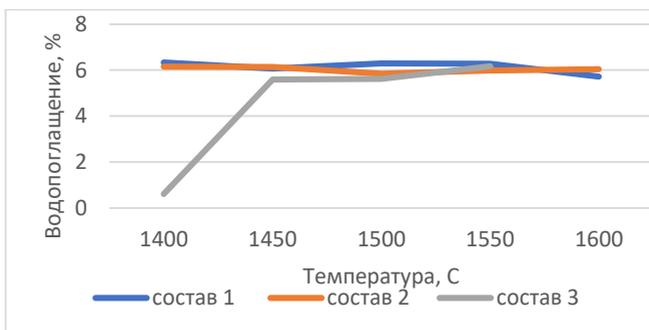


Рис. 2. Зависимость водопоглощения образцов от температуры обжига.

Водопоглощение образцов с повышением температуры обжига у составов 1 и 2 почти не изменяется, у состава 3 наблюдается резкое увеличение водопоглощения при 1450 °С.

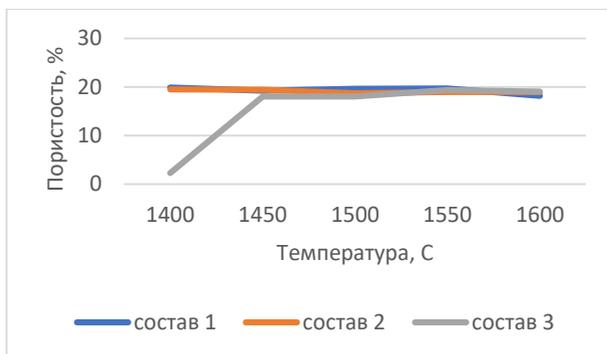


Рис. 3. Зависимость пористости образцов от температуры обжига.

Аналогичная закономерность наблюдается по значениям пористости образцов. Стоит отметить, что пористость образцов 1 состава после обжига при 1600 °С имеет самые низкие значения.

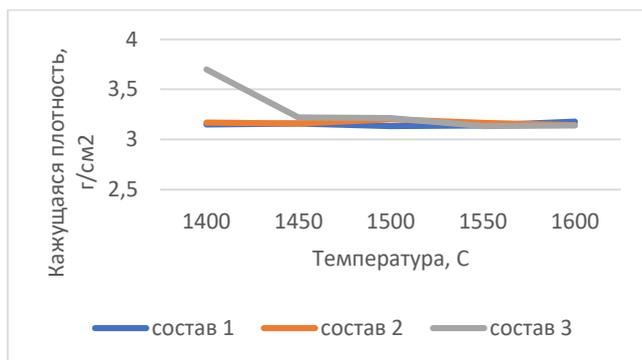


Рис. 4. Зависимость кажущейся плотности образцов от температуры обжига.

Кажущаяся плотность образцов с повышением температуры обжига уменьшается у всех составов до минимальных значений. С добавлением оксида титана в количестве 1% наблюдается максимальное значение кажущейся плотности при 1400 °С.

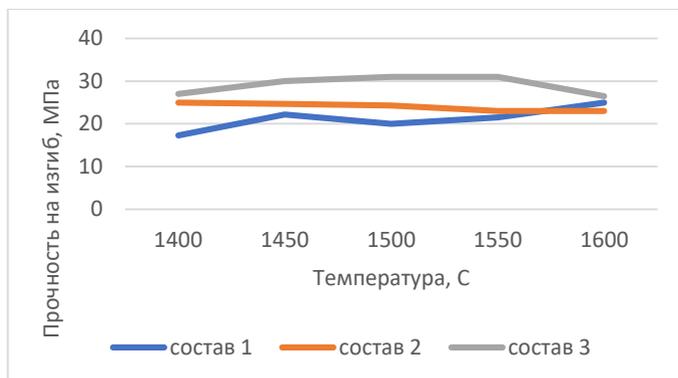


Рис. 5. Зависимость прочности на изгиб образцов от температуры обжига.

С повышением температуры, прочность образцов почти не изменяется, видна тенденция снижения прочности у образцов состава 3, у образцов состава 1 без добавления оксида титана видно незначительное увеличение прочности в интервале температур 1500-1600°C.

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований была выявлена тенденция снижения некоторых физико-механических характеристик образцов при влиянии модифицирующей добавки TiO_2 .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашеев, И. Д. Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кашеев, К. К. Стрелов, П. С. Мамыкин. — М. : Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
2. Кашеев, И. Д. Свойства и применение огнеупоров / И. Д. Кашеев. — М. : Теплотехник, 2004. — 352 с.
3. Тюлькин, Д. С. Сравнительный метод испытания огнеупоров на деформационные явления при высоких температурах / Д. С. Тюлькин, В. А. Богданов, П. М. Плетнёв // Сб. тр. Всероссийской научно-практической конференции «Качество и инновации — основа современных технологий», г. Новосибирск, 2012. — С. 144–151.
4. Тюлькин, Д. С. Огнеупоры для производства технической керамики / Д. С. Тюлькин, П. М. Плетнев, Ю. К. Непочатов // Вестник СГУПС. — 2014. — № 30. — С. 111–119.
5. Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гуман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С. Химическая технология керамики. М.: ООО РИФ "Строиматериалы", 2012. 496 с.

6. Гавшина О.В., Дороганов В.А., Евтушенко Е.И. Разработка состава масс для производства керамобетонов корундового состава // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. №2 (33). Часть 1. С. 31 – 33.

7. Андрианов Н.Т., Балкевич В.Л., Беляков А.В., Власов А.С., Гуман И.Я., Лукин Е.С., Мосин Ю.М., Скидан Б.С. Химическая технология керамики. М.: ООО РИФ "Строиматериалы", 2012. 496 с.

УДК 666.943.22

Кривошеин Д.В., Ареньева С.Д., Ершова А.В.

Научный руководитель: Ерыгина А.О., асс.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ГЛИНИСТОГО КОМПОНЕНТА ДОМЕННЫМ ШЛАКОМ В ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОЙ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ

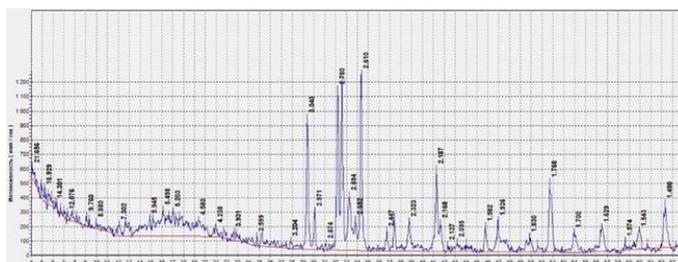
Современные представления об энергосберегающих технологиях в цементной промышленности связаны с рассмотрением вопросов о замене исходных природных компонентов в составе портландцементной сырьевой смеси на аналоги, в качестве которых, как правило, выступают отходы других промышленных предприятий. Использование данных отходов из экологических соображений и экономической выгоды является перспективным в применении на различных производственных предприятиях, что наряду с этим снижает их зависимость от природных источников сырья и предопределяет пути инноваций и развитие новых технологий производства портландцемента.

Доменный шлак является побочным продуктом металлургического процесса, который образуется в результате выплавки чугуна из железной руды в конвертерах или доменных печах. Он может быть использован в цементном производстве в качестве альтернативы для глинистого компонента. Однако при использовании доменного шлака необходимо контролировать его химический состав и свойства, чтобы качество выпускаемой продукции соответствовало требованиям настоящих стандартов [1].

В программном обеспечении «ШИХТА» в соответствии с химическим составом исходных компонентов был рассчитан химический и материальный составы смесей. Для проведения исследовательской работы были подготовлены две сырьевые смеси:

первая смесь – на основе мела, глины, пиритных огарков, а вторая – на основе мела, доменного шлака и пиритных огарков. Далее подготовленные смеси обжигались при температуре 1450°C и 45 минутам изотермической выдержки, охлаждение было резким на воздухе. Минералогический состав 2-х полученных клинкеров исследовали рентгенофазовым методом анализа, результаты которых представлены на рис. 1 и 2, идентификация исследуемых фаз выполнялась по [2]. Качество полученных клинкеров контролировалось по требованиям ГОСТ 31108-2020 [1].

Результаты РФА показывают, что два исследуемых клинкера содержат все необходимые клинкерные минералы, а именно: C_3S , C_2S , C_3A и C_4AF , но также присутствует и некоторое количество свободного оксида кальция. Для подтверждения был выполнен этилово-глицератный метод анализа [4] с целью определения содержания свободного CaO . В клинкере 1 содержание свободного CaO составило – 4,74%, в клинкере 2 – 7,84%. Полученные результаты превышают допустимые нормы. Высокое содержание свободного оксида кальция возможно связано с быстрой скоростью процесса декарбонизации мела. Т.к. мел «разлагается» быстрее других компонентов в смеси, это может привести к неполному усвоению выделившегося CaO , где часть его будет пережигаться, что, как следствие, окажет влияние на кинетику реакций образования клинкерных минералов.



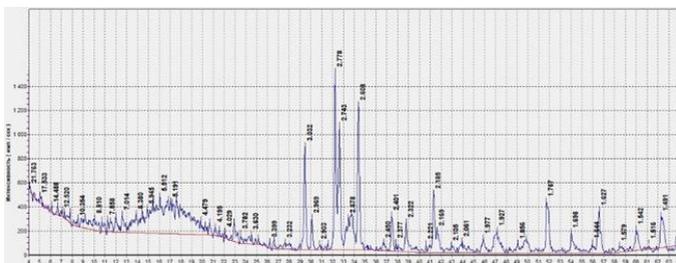


Рис. 2. Минералогический состав клинкера, полученного из 2-й сырьевой смеси состава: мел, доменный шлак, пиритные огарки

С помощью дифференциально-термического метода анализа определили температуры процессов декарбонизации, образования белита и клинкерного расплава (рис. 3 и 4).

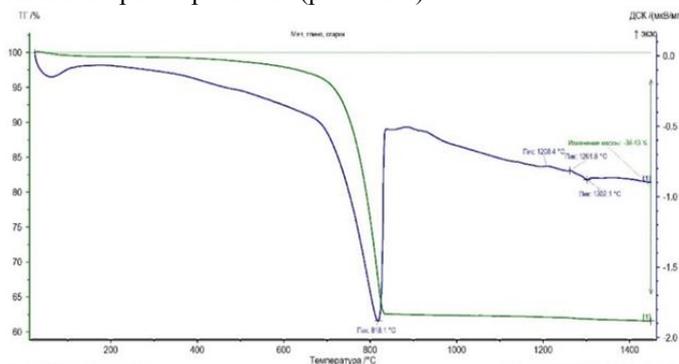


Рис. 3. Дифференциально-термический анализ сырьевой смеси 1, состоящей из мела, глины и пиритных огарков

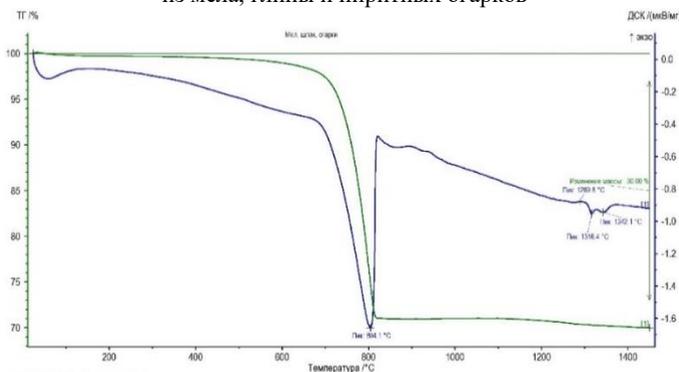


Рис. 4. Дифференциально-термический анализ сырьевой смеси 2, состоящей из мела, доменного шлака и пиритных огарков

По рис. 3 можно отметить, что образование белита и появление клинкерного расплава в той смеси, где присутствовала глина, происходят при температурах 1262 и 1302°C соответственно. В смеси, где глину заменили доменным шлаком (рис. 4), белит формируется при 1290°C, а появление клинкерного расплава фиксируется при 1316 и 1342°C. Но предположительно, ввиду минералогического состава шлака, между 2-мя точками появления клинкерного расплава отмечается экзотермических эффект, снова происходит кристаллизация белита при температуре $\approx 1330^\circ\text{C}$.

Физико-механические испытания исследуемых клинкеров были выполнены в малых образцах в соответствии с методикой [4]. Результаты предела прочности при сжатии исследуемых образцов представлены на рис. 5.

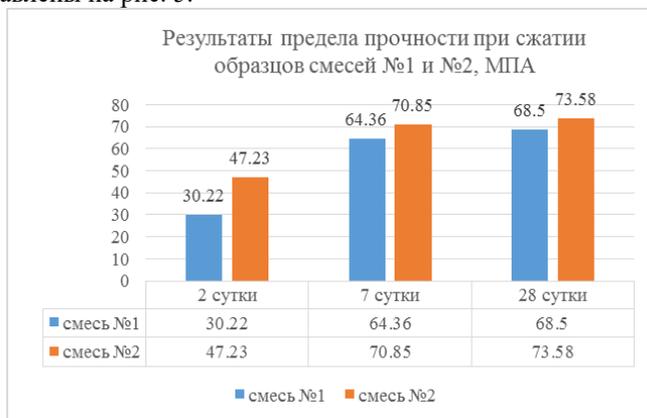


Рис. 5. Прочностные характеристики исследуемых клинкеров

По рис. 5 можно отметить, что прочность при сжатии клинкера, полученного при использовании доменного шлака в составе сырьевой смеси, выше как в ранние, так и в поздние сроки твердения, по сравнению с клинкером, в сырьевой смеси которого была глина.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Глинистый компонент можно заменить на доменный шлак в портландцементной сырьевой смеси;
2. Клинкер №2, полученный с применением доменного шлака в сырьевой смеси, имеет более высокие показатели прочности относительно клинкера №1, где в сырьевой смеси присутствовала глина;
3. Доменный шлак немного замедляет кинетику реакций

образования клинкерных минералов. Возможно, требуется увеличить время выдержки при обжиге клинкера в печи.

4. Содержание свободного оксида кальция в исследуемых пробах клинкера превышает допустимый предел, поэтому для них необходимо предусмотреть определение коэффициента расширения.

5. Следует рассмотреть возможность не полной замены глинистого компонента на доменный шлак, а частичной, что, в свою очередь, требует дополнительных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия: межгосударственный стандарт: издание официальное : утвержден и введен в действие межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (протокол от 30 апреля 2020 г. № 129-П): разработан некоммерческой организацией «Союз производителей цемента» (НО «СОЮЗЦЕМЕНТ») и Обществом с ограниченной ответственностью «Фирма «Цемискон» (ООО «Фирма «Цемискон»). - 10 с. - текст непосредственный.

2. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб, пособие. — М.: Высш. школа, 1981- 335 с.

3. Классен, В.К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций: учеб. пособие / В.К. Классен. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012 – 308 с.

4. Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. Учебное пособие для химико-технологических специальностей вузов. М., «Высш. школа», 1973- 212 с.

УДК 666.94

Кужелева А.А.

*Научный руководитель: Морозова И.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

К одной из наиболее актуальных проблем в современном мире относится загрязнение окружающей среды бытовыми и

производственными отходами.

В настоящее время на территории России скопились гигантские объёмы вторичных ресурсов, многие из которых являются пригодными для использования в строительстве и производстве строительных материалов как альтернатива природным сырьевым и топливосодержащим ресурсам [1, 2].

Значительный гипсовый сырьевой ресурс в различных регионах мира составляют гипсосодержащие побочные продукты и отходы промышленности, такие как фосфогипс, фторогипс, борогипс, цитрогипс и другие виды [3]. Мировой объём их образования составляет более 150 млн. тонн в год.

Для Белгородского региона к одному из таких ресурсов относится цитрогипс, который является отходом производства пищевой лимонной кислоты. Его переработку можно определить к числу важнейших и труднодостижимых мероприятий [4]. Решение же вопроса его использования не только благоприятно скажется на окружающей среде, но и обеспечит местные строительные предприятия альтернативным сырьём, что может позволить снизить себестоимость получаемой продукции.

В настоящее время цитрогипс не имеет широкого применения. В тоже время его использование в качестве регулятора сроков схватывания цемента представляется весьма перспективным.

В связи с этим, целью данной работы являлось исследование возможности использования цитрогипса в качестве добавки при производстве цемента.

Для проведения исследований в работе использовались следующие материалы: клинкер ОАО «Горнозаводск цемент» (Табл. 1, 2, 3), природный гипс ООО «КНАУФ ГИПС Новомосковск» (Табл. 4) и цитрогипс ОАО «Цитробел» (Табл. 5).

Таблица 1 – Химический состав клинкера, %

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	TiO ₂
64,78	21,53	5,40	3,94	2,50	0,735	0,259	0,257	0,256

Таблица 2 – Минералогический состав клинкера, %

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
58,14	17,88	7,61	11,98

Таблица 3 – Модульные характеристики клинкера

КН	n	p
0,90	2,31	1,37

Таблица 4 – Химический состав природного гипса, %

Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	SiO ₂
0,32	30,7	0,12	2,85	42,39	1,12

Таблица 5 – Химический состав цитрогипса, %

Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	H ₂ O _(г)	CO ₂
0,12	31,7	0,04	0,04	45,49	21,23	0,05

Для проведения исследований были рассчитаны составы цементов с различным содержанием природного гипса и цитрогипса при одинаковом суммарном содержании гипсосодержащей добавки.

Синтез цементов проводился путём совместного помола клинкера и добавки в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности, равной 300±10 м²/кг. Результаты определения содержания SO₃ в цементах показали, что при увеличении доли цитрогипса в цементе количество SO₃ увеличивается с 1,04 до 1,60% (Табл. 6).

Таблица 6 – Содержание SO₃ в цементах

Цемент	SO ₃ , %
I. Г	1,04
II. Г+Ц*	1,25
III. Ц	1,60

* Г - природный гипс, Ц - цитрогипс

В связи с этим целесообразным было определение влияния цитрогипса на сроки схватывания цементного теста (в малых образцах). По результатам исследований видно (Рис. 1), что при использовании цитрогипса сроки начала схватывания цемента сначала сокращаются с 30 до 20 минут, а затем при дальнейшем увеличении доли цитрогипса увеличиваются до 46 минут.

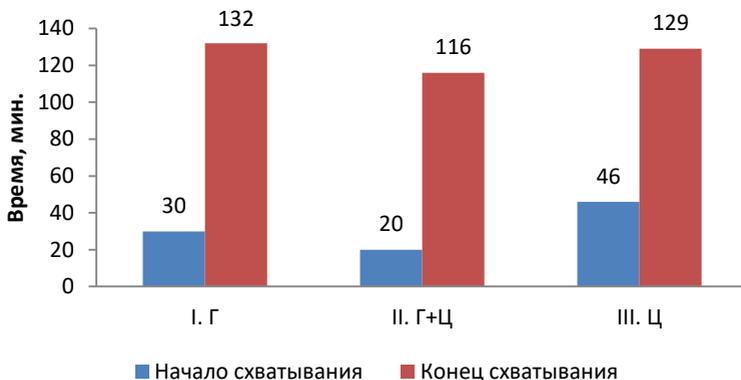


Рис.1 Влияние цитрогипса на сроки схватывания цементного теста

Следующим этапом работы было определение влияния цитрогипса на прочностные показатели цемента (в малых образцах).

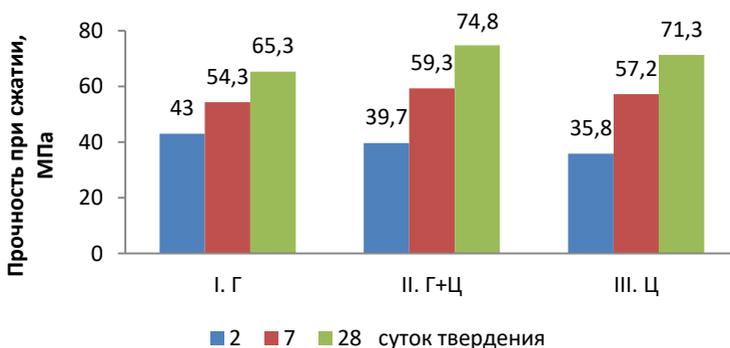


Рис.2 Влияние цитрогипса на прочность цемента

Результаты исследований показали (Рис. 2), что в начальные сроки твердения цементы, содержащие цитрогипс, уступают по прочности цементу с природным гипсом. Однако к 28-ми суточному возрасту твердения эта зависимость изменяется. Наилучший результат показал цемент, содержащий добавку природный гипс+цитрогипс. Его прочность составила 74,8 МПа, что практически на порядок превысило значение прочности цемента с природным гипсом, равное 65,3 МПа.

Таким образом, по результатам проведенных исследований установлена возможность использования цитрогипса в качестве

добавки-регулятора сроков схватывания при производстве цемента.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен, В.К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций: учеб. пособие / В.К. Классен. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 308 с.
2. Классен, В.К. Техногенные материалы в производстве цемента / В.К. Классен, И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов. – Белгород, 2008. – 126 с.
3. Алфимова, Н.И. Обзорный анализ способов получения вяжущих из гипсосодержащих отходов промышленных производств / Н.И. Алфимова [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2020. – №11. – С. 8-23.
4. Свергузова, С.В. Влияние условий обработки цитрогипса на состав получаемого гипсового вяжущего / С.В. Свергузова, Н.В. Чернышева, Л.И. Черныш, А.В. Шамшуров // Строительные материалы. – 2010. – №7. – С. 31-32.

УДК 666.1.001.5

Лазарова Ю.С.

*Научный руководитель: Онищук В.И., канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, Белгород, Россия*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛ ТЭС В ПРОИЗВОДСТВЕ НЕПРЕРЫВНЫХ СТЕКЛОВОЛОКОН

Производимое стекловолокно в России в основном предназначено для отраслей, признанных стратегически значимыми на уровне государства (авиационная, оборонная отрасли, микроэлектроника) и является недоступным для гражданских целей из-за дефицита. Общий суммарный объем производства стекловолокна в России в 2022 году снизился на 12-24 % [1]. Для восстановления и увеличения производственных показателей могут потребоваться соответствующие меры и стратегии с целью повышения эффективности и конкурентоспособности отрасли.

Почти на 70-80 % химический состав стекловолокна представлен SiO_2 и Al_2O_3 , для введения которых используются подготовленные исчерпываемые природные сырьевые компоненты кварцевые пески и глинозем высшего сорта с наименьшим количеством примесей. Почти 50 % от себестоимости стекловолокна составляет стоимость сырьевых

компонентов. Использование альтернативного вида экономически выгодного и недефицитного сырья позволит снизить стоимость стекловолокон и сделать его более доступным для гражданских целей (строительство, архитектура). К такому сырью относится зола-уноса ТЭС, образующаяся входе сжигания углей на электроустановках, которая затем складывается на открытых территориях, размеры которых достигают более 30 тыс. га [2].

По своему составу зола-уноса ТЭС является алюмосиликатной с содержанием SiO_2 и Al_2O_3 около 85 масс.%, с учетом объемов золы доступной для использования, ее можно приравнять к природному сырьевому компоненту, созданного человеком, запасов которого хватит на много лет вперед [3]. Помимо своей доступности рациональность золы-уноса в производстве стекловолокна обоснована следующим:

- зола-уноса является многокомпонентной, что снижает количество сырьевых компонентов для подготовки стекольной шихты, а, следовательно, затраты на закупку, транспортировку, хранение и т.д.;

- зола-уноса является тонкодисперсным материалом с размером частиц около 200 мкм, что исключает затраты на ее дополнительную подготовку;

- зола-уноса в основном представлена стекловидной фазой, ввиду ее высоких температур образования и высокой скорости охлаждения, что позволит снизить энергию, время на ее плавление и гомогенизацию расплава в стеклоплавильной печи [3].

Использование золы-уноса также улучшает экологическую ситуацию нашей страны, снижая количество выбросов парниковых газов, связанных с добычей, транспортировкой природного сырья и освобождая территории от скопления золы.

Состав золы-уноса включает оксиды кальция, магния и титана, характерные для состава стекла, однако содержащееся в ней железо (от 2 до 13 масс. %) вызывает определенные сомнения с точки зрения соответствия стандартам качества. В работе [4] было более подробно изучено влияние оксидов железа, в зависимости от их степени окисления, на технологические свойства стекла.

Железо в стекле может существовать в пяти формах, но в основном оксид железа находится в стекле одновременно в виде Fe^{2+} и Fe^{3+} в соотношении около 1:2 [5], разделяясь на разные структурные составляющие. Катионы Fe^{2+} играют роль модификаторов, имеют октаэдрическую форму с координационным числом равным 6, приводя к деполимеризации кремнекислородного каркаса стекла. Катионы Fe^{3+} имеют тетраэдрическую форму с координационным числом равным 4 и встраиваются в кремнекислородный каркас, выполняя

стеклообразующую функцию. Присутствие иона Fe^{3+} замедляет процесс кристаллизации, увеличивая вязкость стекла, увеличивает температуру размягчения, а также химическую стойкость стекла [5-10].

Как Fe_2O_3 , так и Al_2O_3 являются амфотерными оксидами и входят в группу промежуточных оксидов по способности к стеклообразованию. Одним из параметров, определяющих способность стеклообразования является отношение радиуса катиона к радиуса кислорода $\frac{r_K}{r_{\text{O}^{2-}}}$, которое в свою очередь определяет координационное число катиона [11]. Для образования тетраэдров, т.е. для формирования окружения из четырёх атомов кислорода ($\text{К.Ч.} = 4$) отношение радиуса катиона к радиуса кислорода должно удовлетворять правилу радиусов $\frac{r_K}{r_{\text{O}^{2-}}} = 0,225 \div 0,414$ [12]. Соотношение радиусов ионов Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} равны 0,543; 0,457; 0,357, соответственно. Согласно чему, ионы Fe^{2+} , Fe^{3+} соответствуют октаэдрическому окружению ионами кислорода. Однако в случае Fe^{3+} превышение значения верхнего предела радиусов ионов 0,414 составляет 0,457, что позволяет предположить существование его в тетраэдрическом окружении. Если при расчете этого соотношения использовать значения радиусов Fe^{3+} и Al^{3+} , находящихся в тетра- позициях (0,53 и 0,49 Å соответственно), то соотношение радиусов составляет 0,350 и 0,379 и находится в необходимом диапазоне (0,225 ÷ 0,414), что позволяет образовывать тетраэдры [7].

При изучении системы $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$, в которой соотношение $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} < 1$ было установлено, что ионы Fe^{3+} находятся в тетраэдрической координации, выступая стеклообразователем, а при соотношении $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Na}_2\text{O} = 1$, катионы Fe^{3+} находятся в тетраэдрической и октаэдрической координации, выступая одновременно как стеклообразователем, так и модификатором [7].

Известно также, что с увеличением кислотности силикатного расплава равновесие в системе $\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + e^-$ смещается в сторону образования Fe^{2+} , поскольку FeO имеет более основной характер. В основных силикатных расплавах более устойчивым является Fe^{3+} , поскольку Fe_2O_3 имеет кислотный характер и упрочняет сетку стекла [7, 8].

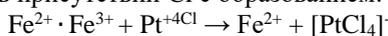
Понимание того, в какой степени окисления находится железо в составе стекла и какую координацию оно имеет, является весьма важным показателем, лимитирующим содержание оксида железа в составе. Использование в стекловолоконной промышленности фильерных стеклоплавильных установок, изготовленных на основе платино-родиевого сплава, ограничивает использование

железосодержащих стекол, а именно стекол содержащих по большей мере железо в форме Fe^{2+} . В общем случае, платина (Pt) и железо (Fe) являются химически стойкими и не взаимодействуют между собой без дополнительных условий, таких как высокие температуры. Выработку непрерывных стекловолокон ведут при температурах достигающих $1570\text{ }^{\circ}C$, при которых платиновые изделия деформируются, меняют форму, линейные размеры, частично улетучиваются, сокращая срок службы, а отдельные оксиды стекла могут взаимодействовать с платиной, в т.ч. оксиды железа, что также приводит к уменьшению срока эксплуатации фильерных установок [13].

Из технологии получения непрерывного базальтового волокна, являющегося наиболее близким аналогом, известно, что присутствие в составе Fe^{3+} положительно сказывается не только на технологических свойствах стекла, но и на взаимодействии базальтового расплава с платино-родиевым сплавом, из которого изготавливаются фильерные питатели, при выработке волокна. При наличии в расплаве Fe^{2+} протекает следующая реакция [14]:



Окислительно-восстановительная реакция Fe^{3+} с платиной может происходить только в присутствии Cl с образованием:



Окислительно-восстановительная реакция $Pt + Fe^{3+} \rightarrow$ не идет, поскольку сумма электродных потенциалов имеет отрицательное значение:

$$E_{окисл} Fe^{3+} (-0,771) + E_{восст} Pt (+0,73) = -0,041$$

При выработке базальтового непрерывного волокна обнаружено окисление Fe^{2+} до Fe^{3+} после прохождения платиновых фильер с увеличением содержания Fe_2O_3 в 2 раза по отношению к исходному составу с разрушением фильер (влияние кислорода исключается) [10].

После длительной эксплуатации платиновых питателей с расплавом стекла была показана возможность перехода и накопление элементов из расплава стекла. Оксиды железа и меди ускоряют разрушение платиновых питателей, результатом взаимодействия являются сквозные отверстия кратерообразной формы. Спектральным анализом установлено содержание железа в этих отверстиях, в то время как на неповрежденной части платинового питателя железо отсутствует [15].

Таким образом, процесс варки стекла для стекловолокна на основе золы-уноса следует вести в таких условиях, которые обеспечивают максимально полное окисление FeO до Fe_2O_3 , а выработку непрерывного волокна следует вести по одностадийной технологии, во

избежание лишних температурных перепадов, способствующих изменению равновесия в системе $\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$. В таком случае оксид железа будет оказывать лишь положительное влияние на свойства вырабатываемого волокна, увеличивая прочностные характеристики и химическую стойкость.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ российского рынка ПКМ на основе стекловолокна / Межрегиональный промышленный кластер. – Москва, 2023.- URL: <https://compositescluster.ru> (дата обращения 06.05.2024).

2. Лунев А.А. Обоснование расчетных значений механических характеристик золошлаковых смесей для проектирования земляного полотна: дис. на соискание учен. степени кандидата техн. наук : 05.23.11 / Лунев Александр Александрович ; СибАДИ.- Омск, 2019.-192 с.

3. Онищук В.И. Оценка возможности использования золы Рефтинской ГРЭС в производстве непрерывного стекловолокна / В.И. Онищук, Ю.С. Лазарова, Е.И. Евтушенко // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова.- 2021.- № 5.- С. 71–81. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-71-81.

4. Лазарова Ю.С. О влиянии оксидов железа на технологические свойства расплавов, полученных на основе техногенных отходов ТЭЦ / Ю.С. Лазарова // Научные технологии и инновации (XXV научные чтения): сб. докладов междунар. науч.-практ. конф.- Белгород, 2023.- С. 483-490.

5. Кручинин Д.Ю. Физическая химия стеклообразного состояния: учеб. пособие / Д.Ю Кручинин, Е.П. Фарафонтова.- Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021. -108 с.

6. Жерновая Н.Ф. Железосодержащие стекла и ситаллы на основе попутных пород Курской магнитной аномалии : дис. на соискание учен. степени кандидата техн. наук : 05.17.11 / Жерновая Наталья Федоровна.- Белгород, 1984.- 262 с.

7. Борисов Н.В. Комплексообразование железа с участием ионов O^{2-} в расплавах и стеклах системы $\text{Na}_2\text{O}-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ / Н.В. Борисов, А.В. Васильев, В.Г. Конаков // Вестник СПбГУ.- 2005.- № 1.- С. 47-54.

8. Пономарчук С.М. Об использовании кварцево-полевошпатовых поров в производстве эмалей / С.М. Пономарчук, Ю.Д. Баринов, Л.С. Капустина // В сборнике: Вопросы химии и химической технологии.- Харьков, 1973. – Вып. 29.- С. 122-126.

9. Рыбин В.А. Физико-химическое исследование базальтового волокна с защитными щелочестойкими покрытиями : дис. на соискание

учен. степени кандидата техн. наук : 02.00.21 / Рыбин Вячеслав Андреевич ; Ин-т химии твердого тела и механохимии СО РАН.- Новосибирск, 2016.- 132 с.

10. Малова Ю.Г. Физико-химические свойства стекловолокон из алюмосиликатов базальтового состава : автореф. дис. на соискание учен. степени кандидата химич. наук : 02.00.04 / Малова Юлия Германовна; Дальневосточный государственный институт путей сообщения Министерства транспорта РФ. –Хабаровск, 2010.- 21 с.

11. Артамонова М.В. Строение и физико-химические свойства стекла: учеб. пособие / М.В. Артамонова.- Москва, 1972. - 163 с.

12. Аппен А.А. Химия стекла. / А.А. Аппен.- 2-е изд., испр.- Ленингр, 1974.- 351 с.

13. Васильева Е. В. Платина, ее сплавы и композиционные материалы. / Е.В. Васильева, Р. М. Волкова, М. И. Захарова ; Металлургия.- Москва, 1980.- 296 с.

14. Джигирис Д.Д. Основы производства волокон и изделий / Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова. ; Теплоэнергетик.- Москва, 2002.– 416 с.

15. Пухова О.Е. Рафинирование платины и платинородиевых сплавов методом индукционной плавки с гарнисажем из порошка глинозема : дис. на соискание учен. степени кандидата техн. наук : 2.6.2 / Пухова Ольга Евгеньевна ; Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук.– Москва, 2023.- 161 с.

УДК 666.1.031.1:666.12:666.242

Линец В.В.

*Научный руководитель: Онищук В.И., канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАРЦИТОПЕСЧАНИКОВ МЕЖДУРЕЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

Альтернативные источники кварцсодержащего сырья всегда являлись интересом для стекольной промышленности. При рассмотрении альтернативных источников сырья в каждом конкретном случае необходимо проводить исследования, позволяющие установить возможность их использования для стекол различных химических составов [1].

Исследование свойств кварцитопесчанников Междуреченского

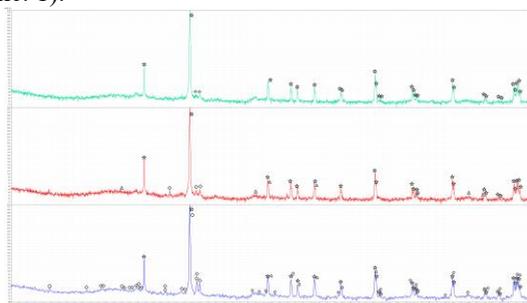
месторождения (КПММ), в частности, стабильности их химического и минералогического составов, а также их тугоплавкость, определяемой наличием тугоплавких кристаллических фаз позволяет получить информацию, имеющую решающее значение для определения пригодности этих отходов в качестве заменителя традиционных качественных кварцевых песков в производстве стекла [2].

Для оценки стабильности химического и минералогического состава КПММ использовали комбинацию инструментальных аналитических методов:

- рентгенофлуоресцентный анализ (XRF) позволил провести точное количественное определение химического состава 3-х проб КПММ, отобранных в различное время, что дало представление о наличии и количестве различных оксидов, а также диапазона их содержания в трех пробах, масс. %: 73,10...77,22 SiO₂; 11,37...13,88 Al₂O₃; 1,85...2,15 CaO; 0,22...0,67 MgO, 2,00...3,85 K₂O; 2,43...3,57 Na₂O; 0,96...2,52 Fe₂O₃, 0,11...0,50 TiO₂. При рассмотрении химического состава КПММ и пределов колебания оксидов в них, можно говорить, что исследуемый материал можно отнести к кварц-полевошпатовому сырью марки КПШС-Н-11,5[3].

- рентгенофазовый анализ (XRD) позволил идентифицировать определить кристаллические фазы, присутствующие в отходах, выявить минералогический состав и потенциальное присутствие примесей (Рис. 1).

XRD-анализ подтвердил наличие кварца (SiO₂) в качестве доминирующей минеральной фазы, а также содержание определённого количества альбита (Na[AlSi₃O₈]), (Al₃NaO₁₁Si₃) и ульвёшпинели (Fe₂TiO₄) (Рис. 1).



б

Рис. 1 Дифрактограмма отсегов кварцевого песка Междуреченского В
месторождения: а – проба КПММ №1; б – проба КПММ №2; в – проба КПММ №3.

Кварц SiO₂ ★; Альбит – Na[AlSi₃O₈] –◇; Al₃NaO₁₁Si₃ –◡;
Ульвёшпинель Fe₂TiO₄ –△

Исследование тугоплавкости и наличие тугоплавких включений в КПММ позволяют определить успешность процесса стекловарения, поэтому для установления их поведения при нагреве образцы подвергли термообработкам при высоких температурах (Табл.1):

- при температурах 1550°С и 1650°С образцы нагревались в печи, оснащенной хромит-лантановыми нагревательными элементами, в течение 60 минут при каждой температуре. Это позволило наблюдать любые физические изменения или поведение плавления при повышенных температурах;
- при достижении температуры 1700°С образцы подвергались интенсивному нагреву в пламени газокислородной горелки в течение 30 минут, имитируя условия, в которых находится сырье в процессе плавления в стекловаренной печи.

Исследование поведения КПММ при высокотемпературной обработке позволило определить максимальную температуру их плавления.

При температуре 1550°С в большинстве образцов наблюдались признаки стеклообразования, что свидетельствует о начале появления участков микрорасплава полевошпатового состава. формирования стекла, несмотря на высокое содержание оксидов, имеющих высокую температуру плавления.

Таблица 1 – Качественная оценка процесса стеклования исследуемых КПММ

№	1550°С	1650°С	1700°С
ОКП 1			
ОКП2			



При повышении температуры до 1650°C и 1700°C степень стеклообразования становилась все более выраженной, что указывает на корреляцию между поведением при плавлении и составом КПММ, в частности, наличием оксидов RO_2 , R_2O_3 и R_2O .

Рентгенофазовый анализ термообработанных образцов (Рис. 2) выявил полиморфное превращение кварца с переходом в кристобалит, высокотемпературный полиморф SiO_2 . Это превращение, наряду с растворением зерен кварца и взаимодействием их со щелочными и щёлочноземельными оксидами, образовавшимися в результате физико-химического взаимодействия минералов (Рис. 2), свидетельствует о том, что отходы кварцевого песка претерпевают сложные минералогические изменения в процессе плавления [4].

На порошковой рентгеновской дифрактограмме (Рис. 2,а) видно, что при температуре обработки 1550°C основные кристаллические фазы представлены кристобалитом и кварцем и незначительным образование аморфизированного полевошпатового стекла.

Повышение температур обработки до 1650°C способствует к интенсификации стеклообразования с нерастворенным кристаллическим кристобалитом (Рис. 2,б), который после температуры 1700°C также переходит в стеклообразное состояние (Рис. 2, в), что наглядно доказывает вид порошковой рентгеновской дифрактограммы.

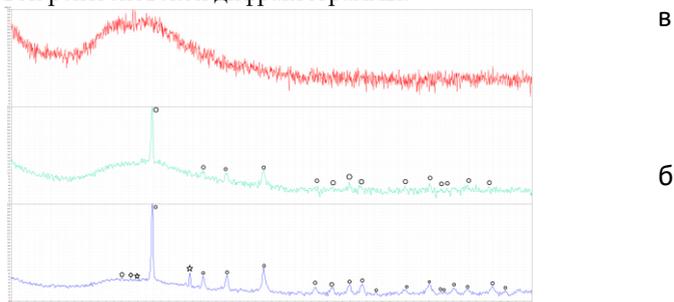


Рис.2 Дифрактограмма термообработанных отсеков кварцевого песка а
Междуреченского месторождения: а– 1550°C; б– 1650°C; в–1700°C
Кристобалит SiO_2 – ○; Кварц SiO_2 – ☆; Альбит – $Na[AlSi_3O_8]$ – ◇;
 $Al_3NaO_{11}Si_3$ – ◻

Исследуемые КПММ обладают рядом свойств и характеристик, которые делают их перспективной альтернативой используемым в производстве окрашенной стеклянной тары кварцевых песков низких марок, начиная с С-070 и ниже. Приведенные колебания химического состава потребуют в будущем постоянного входного контроля сырья с применением традиционной корректировки рецепта шихты для поддержания заданного химического состава стекла и оксидов железа, которые во много определяют цвет стекла марки ЗТ-1.

Если рассматривать применение КПММ для других составов стекол, то необходимо проводить дополнительные исследования в двух направлениях:

- для маложелезистых стекол определить возможность обогащения КПММ с целью снижения содержания оксида железа, что возможно при использовании подбора определенных окислительно-восстановительных потенциалов шихты, стекольного боя [5] и условий варки;
- исследование спектральных характеристик экспериментальных стекол, полученных на основе или с участием определенного количества КПММ в шихте, позволяющих оценить возможность получения заданных цветовых характеристик (RGB) для стекол марок ЗТ-1, ЗТ-2 и КТ [5].

При традиционно применяемых в стеклоделии температурах варки стекла [6] для стеклянной тары 1520–1560°C и при достаточно большом (до 13...14 %) содержании в составе стекла R_2O ($Na_2O + K_2O$), процессы силикатообразования и стеклообразования при участии КПММ не будут отличаться от процессов стекловарения традиционных стекольных шихт.

Таким образом, проведенная первичная оценка пригодности КПММ в производстве стеклянной тары, убедительно доказывает, что этот вид сырья можно назвать комплексным, и он может эффективно использоваться в производстве окрашенной стеклянной тары, к которой не предъявляются высокие требования по светопропусканию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минько, Н.И. Использование сырьевых материалов Черноземья в стекольной промышленности России/Н.И. Минько, Н.Ф. Жерновая, З.В. Павленко и др. // Стекло и керамика. – 1997. – № 1. – С. 9-11.
2. Жерновая, Н.Ф. О возможности использования Сачхерских песков в производстве стеклотары / Н.Ф. Жерновая, В.И. Онищук, Н.А. Вардосанидзе // Стекло и керамика. – 1995. – №. 11. – С. 7-8.

3. ГОСТ 13451-77. Материалы полевошпатовые и кварц-полевошпатовые для стекольной промышленности. Технические условия. М.: ИПК Издательство стандартов, 1979, 7с.

4. Химическая технология стекла и ситаллов: [учебник для вузов по специальности "Химическая технология стекла и ситаллов"] / [М. В. Артамонова, М. С. Асланова, И. М. Бужинский и др.] ; под ред. Н. М. Павлушкина. - Москва: Стройиздат, 1983. - 432 с.

5. Жерновая, Н.Ф. Влияние окислительно-восстановительных потенциалов шихты и стекольного боя на окраску промышленных составов стекол, содержащих оксиды железа/Н.Ф. Жерновая, Н.И. Минько, В.И. Онищук и др.// Стекло и керамика, 2000. – №3. – С.11-12.

6. Костенко, С.Е. Современные стекловаренные печи и пути повышения их технико-экономических показателей/С.Е. Костенко, В.И. Онищук, Н.Ф. Жерновая//Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2010. - №3. – С. 127 – 130.

УДК 666.94

Литвинова Ю. И., Дреер Ю.И., Фролова А.Ю.

Научный руководитель: Новоселов А.Г., канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет

им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛИЗУЮЩИХ ДОБАВОК НА ПРОЦЕСС ОБЖИГА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

Производство цемента является одной из основных отраслей промышленности, требующей значительных материальных и энергетических затрат. Только в России ежегодно используется около 10 миллионов тонн топлива для обжига портландцементного клинкера. Особенно энергоемкий этап обжига клинкера, требующий высокой температуры около 1450°C. Именно поэтому сокращение энергопотребления стало одним из главных стратегических приоритетов в развитии цементной промышленности. Одним из способов достижения необходимого энергосбережения является добавление в сырьевую смесь небольшого количества минерализаторов [1-3].

Минерализаторы - это вещества, активно участвующие в формировании клинкерных минералов и частично входящие в их структуру. Использование минерализаторов во время обжига повышает реакционную способность цементной сырьевой смеси и ускоряет

физико-химические процессы. Эти добавки способствуют формированию основных клинкерных минералов в более низком температурном интервале и с большей скоростью [1,3].

Минерализаторы играют важную роль в процессе производства цемента. Они могут быть представлены как природными минералами, так и продуктами других отраслей промышленности, содержащими соединения, которые способствуют более быстрому спеканию клинкера и повышают реакционную способность цементной сырьевой смеси. Исследования и литературные источники подтверждают высокую эффективность минерализаторов в качестве интенсификаторов обжига. Использование таких веществ позволяет улучшить качество и характеристики цемента, что в свою очередь приводит к повышению производительности и снижению затрат в процессе производства.

Плавиковый шпат является наиболее эффективным минерализатором, что было подтверждено множеством исследований [3-5]. Его использование позволяет снизить температуру образования клинкера без снижения его качества. Однако, помимо заметных преимуществ, применение плавикового шпата в производстве цемента имеет и некоторые недостатки. Один из недостатков заключается в ограниченных запасах природного флюорита. Это означает, что с течением времени возможно исчерпание этого ресурса. Также следует учесть, что предприятиям приходится преодолевать значительное расстояние его для доставки, что неизбежно ведет к дополнительным затратам на транспортировку. Еще одним фактором является широкое применение плавикового шпата в других промышленных отраслях, что делает его дорогим и доступным не всем предприятиям.

В связи с этим, возникает необходимость в поиске альтернативного минерализатора. Один из возможных источников такого соединения может быть обнаружен в техническом продукте, полученном в результате электролитического процесса производства алюминия. Данный продукт содержит фтор, однако, в отличие от фторида кальция (CaF_2), фтор представлен в нем в виде криолита (Na_3AlF_6). В работе [6] была исследована возможность использования криолита в качестве альтернативного минерализатора и было подтверждено, что он может быть эффективной заменой фторида кальция.

Целью данной работы является проведение исследования, в ходе которого будет изучена эффективность действия криолита в роли минерализующей добавки на процесс обжига портландцементного клинкера.

В данной работе использовали сырьевую смесь на основе ангарского шлама, рассчитанную на получение рядового клинкера (табл. 1), характеризующегося минералогическим составом и модульными характеристиками, приведенными в таблице 2.

Таблица 1 – Химический состав сырьевой смеси и клинкер, %

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	SO ₃	ППП
Сырьевая смесь	14,47	2,62	2,70	42,56	0,08	34,90
Клинкер	22,23	4,02	4,15	65,38	0,12	-

Таблица 2 – Минералогический состав и модульные характеристики исследуемого клинкера

Расчетный фазовый состав, масс.%				Модули		
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	КН	n	p
64,20	15,31	3,61	12,62	0,92	2,72	0,97

В качестве минерализующей добавки был использован криолит, вводимый в сырьевую смесь сверх 100% в количестве 0,5% и 1% по содержанию иона фтора (F⁻). Из приготовленных смесей были изготовлены таблетки массой по 2 г, которые обжигались в лабораторной печи в интервале температур 1250 – 1450 °С, с выдержкой 15 минут, с последующим резким охлаждением на воздухе.

Оценка эффективности действия минерализатора на процесс обжига определялась по содержанию свободного оксида кальция в синтезированных образцах этилово-глицератным методом. На рисунке 1 приводятся кинетические кривые связывания оксида кальция в смесях без введения добавки и при добавлении криолита в процессе обжига в температурном интервале от 1250 до 1450 °С.

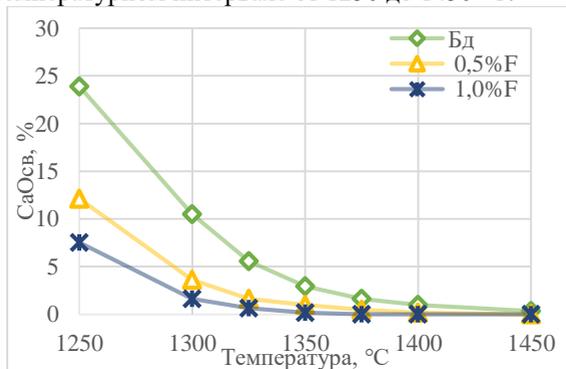


Рис. 1 Кинетика усвоения СаО_{св}

Результаты исследования $\text{CaO}_{\text{св}}$ свидетельствуют о том, что в процессе обжига клинкера без использования минерализатора оксид кальция полностью не усваивается. В продукте обжига при температуре $1450\text{ }^\circ\text{C}$, содержание $\text{CaO}_{\text{св}}$ составляет около $0,33\%$. Наиболее высокая скорость процесса отмечается в промежутке температур $1250\dots 1325\text{ }^\circ\text{C}$, это означает, что основная часть оксида кальция усваивается в клинкерные минералы до температуры $1350\text{ }^\circ\text{C}$.

При добавлении $0,5\%$ криолита в сырьевую смесь, полное связывание оксида кальция происходит при температуре $1400\text{ }^\circ\text{C}$, а при добавлении 1% минерализатора, полное усвоение оксида кальция происходит уже при температуре $1375\text{ }^\circ\text{C}$. Отмечается, что в температурном интервале $1250\text{--}1300\text{ }^\circ\text{C}$ наблюдается наибольшая скорость связывания CaO , и в результате обжига количество свободного оксида кальция снижается с $7,52\%$ до $1,63\%$.

Таким образом, криолит в качестве минерализатора эффективно влияет на усвоение оксида кальция в клинкерные минералы, что дает возможность снизить температуру обжига клинкера.

С целью более подробного рассмотрения изменений, протекающих в фазовом составе смесей при нагревании, проводился рентгенофазовый анализ образцов (рис. 2).

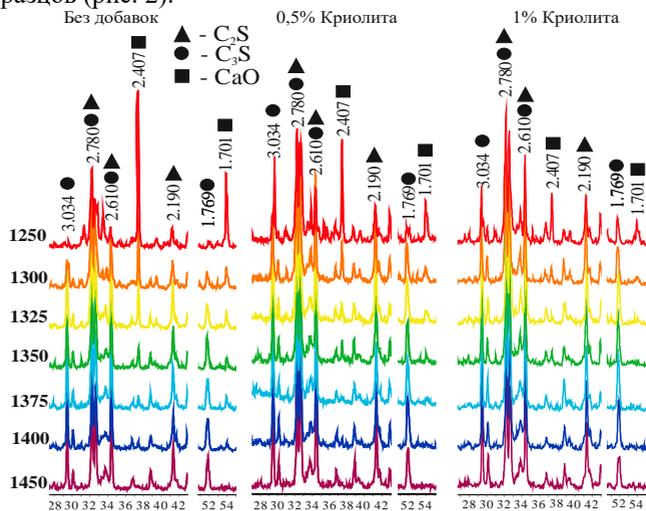


Рис. 2 Изменение фазового состава сырьевых смесей при нагревании

На рентгенограммах бездобавочной сырьевой смеси видно, что образование фазы алита происходит при температуре $1300\text{ }^\circ\text{C}$. А по дифракционным отражениям, соответствующим оксиду кальция d,

$\text{\AA} = 2,407; 1,702$ видно, что усвоение свободного СаО происходит до температуры $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При введении минерализатора в количестве $0,5\%$ дифракционные отражения, соответствующие алиту $d, \text{\AA} = 3,044; 2,780; 1,769$ становятся наиболее выраженными и наблюдаются при температуре обжига $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. А усвоение свободного оксида кальция происходят при более низких температурах, полное связывание свободного СаО происходит до температуры $1375\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На рентгенограмме клинкера с добавлением криолита в количестве 1% дифракционные отражения, соответствующие алиту и белиту, фиксируются при температуре $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Усвоение свободного оксида кальция происходит до температуры $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таким образом, сопоставляя вышеприведенные данные, можно сказать, что при использовании криолита в качестве минерализующей добавки ускоряются процессы клинкерообразования, а именно, увеличивается количество алита с одновременным снижением содержания СаО. Усвоение оксида кальция в клинкерные минералы происходит на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже, чем у контрольного образца, это позволит снизить температуру обжига клинкера до $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$ без потери качества готового продукта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Волконский Б.В., Макашев С.Д. Минерализаторы в цементной промышленности. М.: Стройиздат, 1964, 199 с.
2. Щур А.В., Бышов Н.В., Казаченок Н.Н., Шемякин А.В., Скриган А.Ю., Шилова И.В., Виноградов Д.В. Энергосбережение. Учебное пособие. Рязань: ИП Жуков В.Ю. 2020. – 260 с
3. Лугинина И.Г. Избранные труды. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. – 302 с.
4. Черкасов А.В., Мишин Д.А., Перескок С.А. Использование плавикового шпата для увеличения производительности цементной вращающейся печи // Технологии бетонов. 2014. №7. с. 24–25
5. Бахарев М. В., Москаленко А. Н. Искусственный плавиковый шпат и его применение в цементной промышленности. Цемент и его применение. 2016. №2. С. 50–53.
6. Новоселов А.Г., Дреер Ю.И., Новоселова И.Н., Левина Ю.А. Исследование минерализующего эффекта криолита и его влияния на процессы клинкерообразования // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. №11. С. 82–92.

Логинов А.А.

*Научный руководитель: Головизнина Т.Е., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВЛИЯНИЕ НЕКАЛЬЦИЕВЫХ СУЛЬФАТСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА

На сегодняшний день цементная промышленность производит один из ключевых строительных материалов, выступающих и в роли вяжущего компонента, и как компонент для производства других строительных материалов – бетонных блоков и железобетонных изделий; иногда может быть использован как основа конструкции например для цементного судостроения.

В 1924 году был запатентован и налажен выпуск портландцемента, и с тех пор и процесс производства и его химия за 200 лет сильно претерпели изменения. Хотя название и сохранилось, но портландцемент 1824 года являлся скорее разновидностью романцемента [1].

Наиболее быстро после смешивания цемента с водой происходит гидратация трёхкальциевого алюмината (C_3A), одного из 4-х основных клинкерных минералов. При добавлении гипса происходит реакция с образованием этtringита – игольчатой структуры, не склонной к неравномерному расширению и способной препятствовать диффузии воды. Скорость этого процесса можно регулировать, изменяя количество гипса перед совместным помолом с цементным клинкером.

Поскольку у цемента множество применений, то за счёт этого растёт и спрос на цементы с различными свойствами. Примером таких свойств могут выступать цементы огнеупорные, цветные, имеющие стойкость к радиации или коррозии. Данные свойства позволяют применять цемент в нестандартных условиях, в которых некоторые строительные материалы не могли бы быть применены.

Целью работы является проверка возможности некальциевых сульфатосодержащих добавок регулировать сроки схватывания цемента.

Для этого необходимо подготовить и клинкер и сульфатосодержащую добавку, проверить возможность регулировать сроки схватывания этой добавкой, затем заформовать образцы и испытать их на прочность.

В роли некальциевых сульфатосодержащих добавок для

получения цементов исследованы $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ и $BaSO_4$. Предположительно сульфаты изоморфно близких кальцию – сульфаты магния и бария могут оказаться способны регулировать сроки схватывания.

7-водный сульфат магния получают из морской воды, а также минералов кизерита и карналлита. Безводный сульфат бария получается в промышленности из тяжелого шпата, а также является отходом обогащения и химического производства.

Для исследования использованы $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ и $BaSO_4$ в виде реактивов класса ЧДА.

Белый клинкер для работы необходим из-за высокого содержания фазы C_3A и практически полного отсутствия C_4AF , чтобы исключить возможность его влияния на фазовый состав цемента. Минералогический состав использованного белого цемента приведен в таблице 1:

Таблица 1 – Минералогический состав белого клинкера

Минералы	C3S	C2S	C3A	C4AF
мас, %	67,43	14,84	14,73	1,25

Содержание SO_3 при производстве цемента необходимо, для регулирования времени начала схватывания теста или раствора, но ограничивается по верхнему пределу – в зависимости от марки производимого цемента в соответствии с ГОСТ 31108–2020 разрешается содержание до 3,5-4% SO_3 в цементе [4]. Большее количество приводит к неравномерному расширению вплоть до разрушения [1-3].

Химический состав белого цемента, производимого на Щуровском цементном заводе представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Химический состав белого клинкера

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	ППП	Проч	КН	n	p
22,92	5,82	0,41	69,1	0,9	-	0,85	0,16	0,073	0,083

На предприятии – поставщике белого клинкера рекомендованное кол-во добавки гипса составляло 6%, что при пересчёте на SO_3 составило 2,8%, и удовлетворяет требования ГОСТа.

Произведен расчёт для определения необходимого количества сульфатосодержащей добавки, позволяющей достичь идентичного процентного соотношения SO_3 в цементе (табл. 3)

Таблица 3 - Расчётное количество сульфатосодержащих добавок к клинкеру, масс%

Добавка	%
CaSO ₄ ·2H ₂ O	6
MgSO ₄ ·7H ₂ O	8,6
BaSO ₄	8,1

Методом подбора для каждой из сульфатосодержащих добавок установили В/Ц отношение, позволяющее получить тесто нормальной густоты. Это необходимо по той причине, что водоподробность у составов с CaSO₄·2H₂O большая, чем у MgSO₄·7H₂O, что было установлено опытным путём.

Исследование на возможность регулирования сроков схватывания проведено на нестандартном, малом приборе Вика. Расчёт реальных сроков схватывания проводится с учётом переводного коэффициента, индивидуального для каждого прибора. Полученные результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние вида добавки-сульфата на время начала схватывания цементного теста

Состав	В/Ц	Начало схватывания в малом кольце Вика, мин	Начало схватывания с учётом к-та пересчёта, мин
Кл-р б/д	0,36	20	46
Кл-р+CaSO ₄ ·2H ₂ O	0,36	40	93
Кл-р + BaSO ₄	0,42	30	70
Кл-р + MgSO ₄ ·7H ₂ O	0,32	60	140

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что некальциевые сульфатосодержащие добавки действительно могут регулировать сроки схватывания по сравнению с цементом без ввода регулятора сроков схватывания.

Испытания на прочность производились в возрасте твердения 2, 7 и 28 суток. Определена прочность малых образцов-кубов, изготовленных из цементного теста.

Таблица 5 - Влияние вида сульфатосодержащей добавки на прочностные характеристики цементного камня

Добавка	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут		
	2	7	28
CaSO ₄ ·2H ₂ O	34	53	74
MgSO ₄ ·7H ₂ O	30	38	51
BaSO ₄	26	44	61

Данные, полученные при механических испытаниях позволяют заметить, что в роли сульфатосодержащей добавки лучшими прочностными характеристиками обладает именно состав с гипсом, а MgSO₄·7H₂O и BaSO₄ уступают ему на 13% и 29% по прочности соответственно.

Выводы. По полученным данным можно констатировать тот факт, что сульфатосодержащие добавки, будучи введены в состав цемента на замену гипса позволяют регулировать сроки схватывания, а также способны влиять на набор прочности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тимашов Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов // М.: Высшая школа. 1980 С. 472
2. Классен В. К. Техногенные материалы в производстве цемента: учебное пособие / В. К. Классен, И. Н. Борисов, В. Е. Мануйлов; под общ ред. В. К. Классена. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 126 с.
3. Тейлор Х. Химия цемента. - Пер. с англ. — М.: Мир, 1996. –560 с., ил. ISBN 5-03-002731-9
4. ГОСТ 31108–2020 Цементы общестроительные. Технические условия. – М. : Стандартиформ, 2020. – 24 с.
5. Борисов И. Н. Особенности процессов минералообразования при обжиге цементного клинкера с использованием медеплавильного шлака.// Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2008. № 2. С.11-13.

Малютин Б.А.

*Научный руководитель: Коновалов В.М., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОЖЖЕННОЙ ГЛИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Обожженные глины могут использоваться в качестве пуццолановых добавок в цемент и другие минеральные вяжущие. Большинство обожженных глин получают из низкосортных каолиновых или иллитовых глин, месторождений которых по всему миру очень много. В то же время следует правильно оценивать пригодность и эффективность той или иной обожженной глины для производства строительных материалов, особенно если она низкосортная. При использовании таких продуктов в качестве активных минеральных добавок необходимо учитывать определенные требования. Она должна быть эффективна при тех же технических параметрах, что и основное вяжущее вещество – цемент, должна развивать необходимую прочность на начальном этапе и обеспечивать плотную структуру затвердевшего продукта.

Существует несколько вариантов использования низкосортных каолиновых глин, обожженных при различных температурах:

- использование в качестве активных минеральных добавок;
- частичная замена СаО в автоклавных силикатных изделиях;
- замена сульфатного компонента и частичная замена цемента в автоклавном ячеистом бетоне.

Промышленное производство метакаолина в настоящее время хорошо налажено. Производство других обожженных глин, особенно тех, которые получают из полиминерального сырья, пока ограничивается обжигами в лабораторных условиях, мелкосерийным производством на пилотных установках – это флеш-кальцинация – так называемый современный метод производства метакаолина, который будет наиболее распространённым в будущем (рис. 1), а также вращающиеся печи, которые уже давно используются для производства обожженной глины технологического топлива без ухудшения качества цементной

в промышленных масштабах. Это наиболее экономически и экологически выгодный метод обжига полиминерализованного сырья.



Рис. 1 Промышленный флэш-кальцинатор, Флом, Франция

Сырьевые гранулы размером до 100 мм подаются в печь и обжигаются при самой низкой температуре, при которой обжиг эффективен.

3. Обожженные глины в качестве активной минеральной добавки. Низкосортные каолиновые глины, содержащие до 25 весовых процентов каолинита, ранее считались инертными (неактивными) наполнителями, чем пуццоланы. Многократные научные исследования показывают, что эти материалы используются в качестве основного двух- или трехкомпонентных цементов, и также как активная минеральная добавка. При добавлении обожженной глины в цемент гидратация цемента зависит от трех основных факторов:

- влияние глины как наполнителя;
- ускорение гидратации цемента в течение 24 часов;
- пуццолановая реакция глины (достигает максимума через 7-14 дней)

Однако, влияние химического состава глин, параметров термической обработки и особенности их участия в формировании прочности цементного камня недостаточно изучено.

Целью исследования использования обожженной глины как минеральной активной добавки в бездобавочный цемент является снижение расхода продукции. При этом заменяя некоторую часть клинкера на минеральную добавку, и снижаем выбросы углекислого газа в атмосферу. В процессе исследования решались задачи по влиянию параметров термообработки глин различного состава на гидравлическую активность смешанных цементов, и определение фазового состава новообразований, возникающих в процессе гидратации вяжущих композиций.

Синтезировано несколько видов цемента: бездобавочный цемент

(контрольный образец), и цемент с добавкой 5%, 10% и 20% обожженной глины. Химический состав глин и без добавочного портландцемента, используемых в работе, приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав исследуемых глин

Глина, %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	TiO ₂	R ₂ O	ППП
Руднен- ская	54,0	17,2	7,0	2,34	1,9	0,21	0,9	1,62	14,0
Себря- ковская	58,7	12,9	5,07	6,69	1,98	0,18	0,91	1,66	11,3

Прежде чем приступать к обжигу глины, методом сканирующей калориметрии определяли температурный интервалы разложения исследуемых глин. Дифференциально-термический анализ глины Рудненской (рис. 2) показал, что потеря гидратной влаги происходит в интервале температур 380-520 °С, а при температуре более 900 °С – образуется метакраолин. В глине присутствует кристаллический кварц, о чем свидетельствует наличие эндоэффекта его полиморфного превращения при 575 °С, и небольшое количество карбоната кальция с эндотермическим эффектом выделения CO₂ при 730 °С. При также формируется метакраолин.

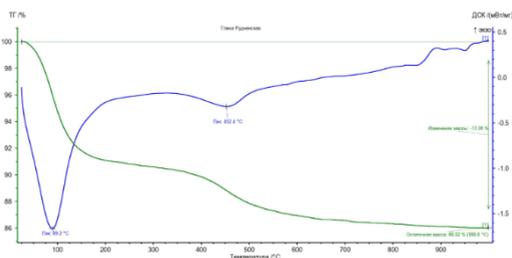


Рис. 2 Дифференциально-термический анализ глины Рудненской

Дифференциально-термический анализ глины Себряковской (рис. 3) показал схожий интервал выделения кристаллизационной воды 380-520 °С, и формирование метакраолина при 893 °С.

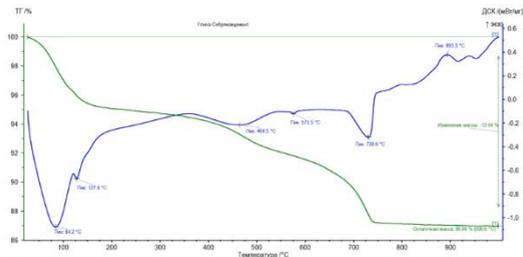


Рис.3 Дифференциально-термический анализ глины Себряковской

Обжиг исследуемых глин проводился в муфельной печи при 650 °С и 850 °С, изотермической выдержкой 40 минут.

Обожженные глины измельчались до полного прохождения через сито №008 и смешивались с контрольным цементом.

Физико-механические испытания цементов выполнялись на малых образцах кубиках 1,41x1,41 см изготовленных из цементного теста с В/Ц = 0,28. Фазовый состав определялся по результатам рентгено-фазового анализа, выполненного на рентгеновском дифрактометре ДРОН – 3.

4.2 Результаты обсуждения.

Выборочные результаты испытаний влияния частичного глинозамещения на прочность полученных цементов, показавшие максимальную прочность испытанных серий опытных цементов представлены в табл.2 и проиллюстрированы на графиках (Рис.4).

Наибольшую активность проявили цементы с добавками глин в количестве 5-10%, обожженных при 650°С. Причем, Рудненская глина, содержащая большее количество глинозема в своем составе, оказала лучшее активирующее воздействие на прочность цементного камня как в ранние, так и в поздние сроки твердения.

Таблица 2 Прочность опытных цементов

Цементы	Прочность цементов при сжатии, МПа в возрасте, сут.	
	2	28
Контрольный цемент	37	70
10% Рудненской глины, 650 °С	42	67
10% Рудненской глины, 850 °С	38	60
10% Себряковской глины, 650 °С	42	54

Повышение температуры обжига до 850 °С способствует кристаллизации метакеолинита, не обладающего вяжущими

свойствами.

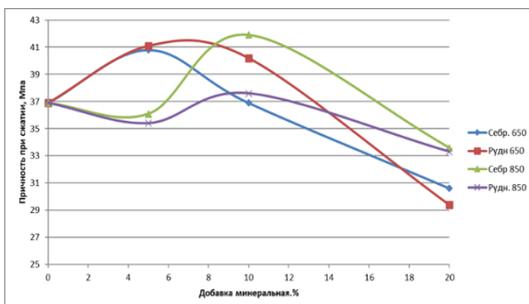


Рис. 4 График прочности цементов при сжатии в возрасте 2 суток

По фазовому составу обе обожженные исследуемые глины близки (Рис. 5). В качестве основных фаз при 650 °С четко идентифицируются кварц и нонтронит. Причем в составе Рудненской глины больше алюмосиликата и меньше кварцевой составляющей.

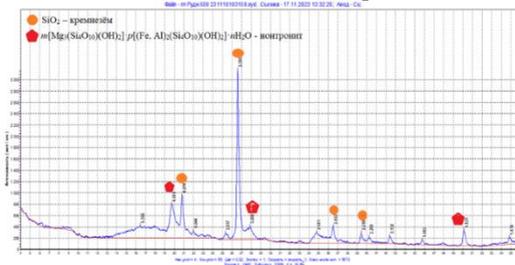


Рис. 5 Фазовый состав глины Рудненской при обжиге 650 °С

Повышение температуры обжига до 850 °С приводит к увеличению отражений характерных для кварца, что указывает на частичную кристаллизацию его аморфной составляющей, образующейся при разложении нонтронита, и образование микрочастиц фаз силлиманита и муллита, не обладающих гидравлической активностью.

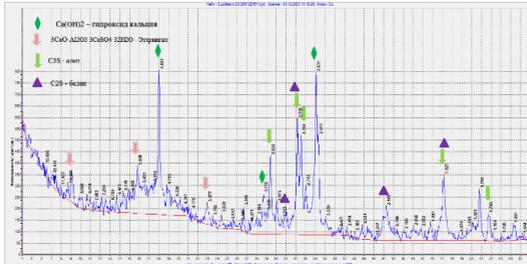


Рис. 6 Фазовый состав цемента без добавок в возрасте 2 суток

В продуктах гидратации без добавочного цемента в 2 суточном возрасте (Рис.6) фиксируются такие гидратные фазы как: алит C_3S , белит C_2S , этtringит $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$ и гидроксид кальция (портландит) $Ca(OH)_2$.

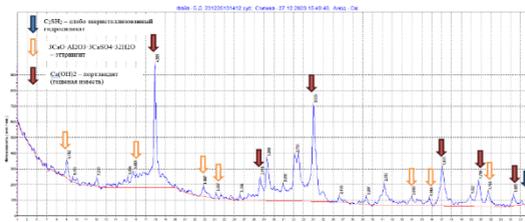


Рис. 7 Фазовый состав цемента без добавок в возрасте 28 суток

В продуктах гидратации без добавочного цемента в 28 суточном возрасте (Рис.7) фиксируются такие гидратные фазы как: портландит (гашеная известь) $Ca(OH)_2$, этtringит $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$, и слабо закристаллизованные гидросиликаты $-C_2SH_2$ (0.1825 нм). В продуктах гидратации цементов с 10% Рудненской глины (Рис.8), обожженной при 650 °С, помимо указанных гидратных фаз, характерных для портландцементного камня, присутствуют портландит (гашеная известь) - $Ca(OH)_2$, кремнезем - SiO_2 и гидрогранаты ($d=0,540; 0,515 0,272 - 0,280$ нм) - $CaAl_2Si_4O_{12} \cdot 2H_2O$.

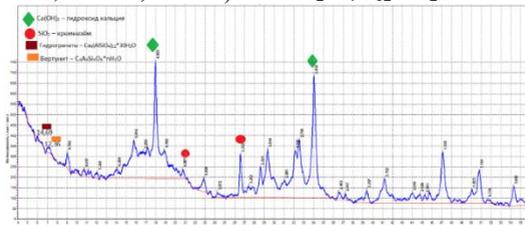


Рис. 8 Фазовый состав цемента с добавкой 10% глины Рудненской при обжиге 650°С в возрасте 28 суток

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Й. Шраббак // Оптимизация помола и повышение качества цемента с помощью добавок // Цемент и его применение. - 2010. - № 2. - С. 60-63.
2. Л. Д. Шахова [и др.] // Оценка активности минеральных добавок для композиционных цементов // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов (XIX научные чтения, 5-8 октября 2010 г. г. Белгород) : междунар. науч.-практ. конф. : сб. докл. - Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010. - Ч. 2: Современные технологии керамики, стекла, вяжущих и композиционных материалов. - С. 306-314.
3. И. Н. Борисов, О. С. Мандрикова, А. Н. Семин // Расширяющаяся добавка на основе сульфатированного и ферритного отходов для получения специальных цементов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2012. - N 1. - С. 125-128.

УДК 666.94

Манаа И., Морозова И.А.

*Научный руководитель: Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ С ЦЕЛЮ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO₂ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

В современном мире одной из наиболее важных экологических проблем является парниковый эффект, приводящий к глобальному потеплению и изменению климата Земли в целом. Парниковый эффект возникает в результате загрязнения атмосферы выбросами парниковых газов, основным из которых (до 80% от общей массы) является углекислый газ CO₂.

Существует несколько способов решения проблемы усиления парникового эффекта, одним из которых является снижение объёма выбросов парниковых газов на промышленных предприятиях. В соответствии с этим, например, в России в 2022 году был принят закон «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации».

На предприятиях цементной отрасли снижение выбросов

парниковых газов возможно за счёт применения техногенных отходов в качестве частичной замены карбонатного и глинистого природного сырья. Одним из перспективных видов техногенных отходов являются такие, которые уже подверглись тепловой обработке в процессе производства основного продукта и содержат в своём составе клинкерные минералы [1].

К таким отходам относятся, например, металлургические шлаки. В результате их использования в качестве сырьевого компонента будет обеспечено не только уменьшение выбросов CO_2 и других парниковых газов в атмосферу, но и снижение затрат тепла на обжиг клинкера и, следовательно, уменьшение расхода топлива на производство цемента [2].

В Белгородской области к наиболее крупнотоннажному техногенному отходу относится шлак Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК) [3]. При производстве основного продукта на комбинате ежегодно образуется до 600 тыс. тонн таких шлаков, которые не гранулируются, а вывозятся в отвалы, загрязняя при этом окружающую среду и занимая пахотные земли.

В связи с этим, в данной работе исследовалась возможность использования шлака ОЭМК в качестве компонента цементной сырьевой смеси с целью снижения выбросов CO_2 при производстве цемента.

В качестве сырьевых материалов использовались: мел, глина и огарки цементного завода, а также шлак комбината ОЭМК (Табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов, %

Компонент	Содержание оксидов							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O	ППП
мел	3,98	1,22	0,52	50,96	0,91	0,31	0,082	44,40
глина	55,72	13,89	5,87	6,69	2,23	0,14	3,18	14,49
огарки	4,66	1,32	69,92	17,21	1,37	0,83	0,407	0
шлак	25,54	4,31	14,41	40,49	13,14	0,188	0,295	11,31

Были рассчитаны составы сырьевых смесей и клинкера без шлака (Табл. 2, 3) и со шлаком (Табл. 4, 5) в качестве одного из сырьевых компонентов. Расчёты проводились таким образом, чтобы характеристики получаемого клинкера были равны: $\text{KH} = 0,92$; $n = 2,2$; $p = 1,2$.

Таблица 2 – Характеристики сырьевой смеси (без шлака)

Компонент	Содержание оксидов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	ППП
мел 79,78 вес.ч.	3,10	0,95	0,41	39,71	0,71	0,24	0,06	34,60
глина 18,34 вес.ч.	10,19	2,54	1,07	1,22	0,41	0,03	0,23	2,65
огарки 1,89 вес.ч.	0,09	0,03	1,38	0,34	0,03	0,02	0,01	0,00
Сырьевая смесь в %	13,38	3,52	2,86	41,27	1,15	0,29	0,30	37,25

Таблица 3 – Характеристики клинкера (без шлака)

Содержание оксидов, %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	ППП
21,32	5,61	4,56	65,77	1,83	0,46	0,48	-
Минералы, %				Модули			КН
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	n	p		
61,57	14,69	7,13	13,86	2,2	1,2	0,92	

По результатам расчётов видно, что при использовании шлака происходит частичная замена им карбонатного и глинистого компонентов. Так, количество мела снижается с 79,78 до 72,62 вес.ч.; а количество глины – с 18,34 до 14,46 вес.ч. Огарки при этом полностью заменяются шлаком.

Таблица 4 – Характеристики сырьевой смеси (со шлаком)

Компонент	Содержание оксидов, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	ППП
мел 72,62 вес.ч.	2,82	0,86	0,37	36,14	0,65	0,22	0,06	31,49
глина 14,46 вес.ч.	7,88	1,97	0,83	0,95	0,32	0,02	0,45	2,05
шлак 12,92 вес.ч.	3,01	0,51	1,70	4,77	1,55	0,02	0,03	1,33
Сырьевая смесь в %	13,71	3,34	2,90	41,86	2,52	0,26	0,54	34,87

Таблица 5 – Характеристики клинкера (со шлаком)

Содержание оксидов, %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	ППП
21,05	5,13	4,45	64,27	3,87	0,40	0,83	-
Минералы, %				Модули			КН
C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	n	p		
60,79	14,50	6,05	13,53	2,2	1,15	0,92	

Необходимо отметить, что наблюдается тенденция к снижению глинозёмистого модуля с 1,2 до 1,15. В связи с этим, при дальнейшем увеличении количества используемого шлака желательным является применение алюминатной добавки с целью оптимизации модульных характеристик сырьевой смеси и клинкера.

Кроме того, происходит увеличение содержания оксида магния в клинкере с 1,83 до 3,87%. Однако количество MgO не превышает допустимое значение (не более 5%) и, следовательно, не будет оказывать негативного влияния на свойства получаемого клинкера и цемента [4].

Таким образом, по результатам проведенных расчётов установлена возможность использования шлака ОЭМК в качестве компонента цементной сырьевой смеси с целью снижения выбросов CO₂ при производстве цемента. При этом будет обеспечиваться частичная замена карбонатного и глинистого компонентов, а также полная замена железосодержащей добавки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен, В.К. Техногенные материалы в производстве цемента / В.К. Классен, И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов. – Белгород, 2008. – 126 с.
2. Борисов, И.Н. Энерго- и ресурсосбережение в производстве цемента при комплексном использовании техногенных материалов / И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2009. – №6. – С. 50-58.
3. Дроздов, А.А. Характеристика шлака Оскольского электрометаллургического комбината / А.А. Дроздов, И.А. Шилова, В.К. Классен, Е.В. Текучева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2005. – №10. – С. 344.
4. ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные».

Миронов В.А.

*Научный руководитель: Щелокова Л.С., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОМОЛА КЛИНКЕРА

В современном мире, где проблемы экологии и эффективного использования энергии становятся всё более значимыми, цементная промышленность вынуждена искать новые решения для улучшения производственных процессов. Одним из важных направлений в этой области является усиление процесса измельчения клинкера.

Цементные заводы в Европе и России, построенные в последнее время, применяют сухой способ производства цемента. Этот метод имеет существенный недостаток по сравнению с мокрым способом — очень высокие энергозатраты, связанные с измельчением материалов в шаровых мельницах. Эффективность этого процесса сравнительно низкая, так как КПД шаровых мельниц не превышает 3,5% [3].

К сожалению, невозможно определить общую закономерность влияния различных классов соединений на ускорение процесса измельчения, поскольку способность цемента к помолу определяется множеством факторов. Ключевыми из них являются химический и минералогический состав клинкера, а также особенности структуры клинкерных минералов и наличие минеральных добавок. Эти факторы оказывают значительное влияние на процесс измельчения цемента. Химический состав клинкера определяет его основные свойства, такие как прочность, водостойкость и морозостойкость. Минералогический состав влияет на скорость гидратации цемента и его способность к набору прочности. Структура клинкерных минералов определяет их прочность и устойчивость к внешним воздействиям. Наличие минеральных добавок может изменять свойства цемента, делая его более устойчивым к агрессивным средам или улучшая его пластичность. Все это связано с тем, что каждый цемент имеет свои уникальные характеристики, которые определяются его составом и структурой. Поэтому для каждого конкретного случая необходимо проводить индивидуальные исследования, чтобы определить оптимальные условия измельчения.

Применение интенсификаторов помола способствует не только повышению текучести материала, но и уменьшению нагрузки на аспирационные вентиляторы. Это, в свою очередь, снижает

потребление электроэнергии, необходимое для транспортировки материала [1].

Интенсификаторы помола представляют собой органические соединения, которые добавляются непосредственно в мельницы в процессе измельчения клинкера. Они рекомендуются для использования в цементной промышленности, чтобы сократить потребление энергии, повысить эффективность дробления и обеспечить тонкий помол [4]. Главный эффект от применения интенсификаторов помола – повышение производительности мельницы и объема выпускаемой продукции.

Еще одной положительной стороной является уменьшение слёживаемости [2]. Интенсификаторы помола можно добавлять прямо в мельницу в небольшом, но строго контролируемом количестве. Эти вещества делятся на две категории: монофункциональные и полифункциональные. Монофункциональные интенсификаторы помола способствуют увеличению производительности мельниц при сохранении характеристик цемента или при той же производительности мельниц повышают тонкость помола цемента, что, в свою очередь, увеличивает его прочность. Полифункциональные добавки могут одновременно улучшить эффективность процесса помола и повлиять на физико-механические свойства цемента. К монофункциональным добавкам можно отнести, например, амины и гликоли, а к полифункциональным – различные поверхностно-активные вещества (ПАВ), например, Литопласт И.

Цель работы заключается в определении вида и концентрации добавок для клинкера ОАО «Пикалевский цемент».

Первым этапом работы являлось измельчение в лабораторной мельнице портландцементного клинкера с природным гипсом до удельной поверхности 340 ± 10 м²/кг. Время помола составило 30 мин, оно было принято за контрольное время измельчения.

В работе были исследованы интенсификаторы помола: этиленгликоль, триэтаноламин, диэтаноламин и глицерин, в количестве 1%.

После проведения каждого помола определялась степень измельчения приведенных материалов по удельной поверхности методом воздухопроницаемости на приборе ПМЦ-500 и остатку на сите №008. Этот метод позволяет оценить эффективность помола и качество получаемого материала. Удельная поверхность – это суммарная площадь поверхности всех частиц материала, приходящаяся на единицу его массы. Чем больше удельная поверхность, тем тоньше помол. Для определения удельной поверхности используется прибор ПМЦ-500,

который работает на основе метода воздухопроницаемости. Прибор пропускает поток воздуха через слой исследуемого материала и измеряет перепад давления. По этому перепаду давления можно рассчитать удельную поверхность материала. Остатки на сите №008 также являются важным показателем качества помола. Они показывают, какая часть материала прошла через сито с размером ячейки 80 микрон. Чем меньше остаток на сите, тем тоньше помол. Остатки на ситах определялись на технических весах. Это позволяло получить точные данные о количестве материала, оставшегося на сите после просеивания.

Таблица – Влияние добавок на тонкость помола клинкера

Используемый интенсификатор	Удельная поверхность, м ² /кг	Остаток на сите, %
Этиленгликоль	358	0,20
Диэтаноламин	345	0,05
Триэтаноламин	346	0,05
Глицерин	347	0,03
–	334	0,35

Все добавки (диэтаноламин, триэтаноламин, глицерин и этиленгликоль) способствовали увеличению удельной поверхности полученного цемента по сравнению с бездобавочной композицией (табл.). Это позволило интенсифицировать процесс помола клинкера, что привело к повышению его производительности. При использовании диэтанолamina, триэтанолamina и глицерина производительность увеличилась на 3%, а при добавлении этиленгликоля на 7%. Остатки на сите № 008 составили менее 1%, что свидетельствует о высоком качестве помола. Наилучший результат показал этиленгликоль, который увеличил удельную поверхность на 7% по сравнению с бездобавочным составом. Это свидетельствует о том, что этиленгликоль является наиболее эффективной добавкой для интенсификации процесса помола клинкера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества. Свойства и применение / А.А. Абрамзон. – Л. «Химия». – 1975. – С.248.
2. Борисов И.Н. Влияние вида применяемого помольного агрегата на гранулометрический состав продукта / Борисов И.Н., Злобин И.А., Мандрикова О.С., Dr. Zysk K.-H. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. –

2014. – №5. – С. 164-168.

3. Карибаев К.К. Поверхностно-активные вещества в производстве вяжущих материалов. / К.К. Карибаев. - Алма-Ата «Наука», 1980. – С. 336

4. Стронин А.А. Исследование интенсифицирующего воздействия добавок на помол портландцементного клинкера / Л.С. Щелокова, А.А. Стронин. // Международный студенческий научный вестник. — 2016. — №2. — С. 118-119.

УДК 666.76:666.631

Михайличенко И.К.

*Научный руководитель: Дороганов В.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Производство керамических материалов имеет древние корни и богатое наследие, несмотря на это, в современном мире оно стало объектом интенсивных исследований и инноваций. Керамика, как отрасль, играет важную роль в различных областях, начиная от строительства и заканчивая высокотехнологичной и атомной промышленностью. Ее эволюция и успех сегодня тесно связаны с поиском и использованием новых видов сырьевых материалов. Для создания материала, имеющего определенные структурные признаки, мы находим необходимые параметры для их формирования.

Одним из ключевых аспектов внедрения новых сырьевых материалов в производство керамики является заметное улучшение характеристик керамических изделий. Основным сырьем для производства керамических материалов и изделий являются глины. При производстве керамических и огнеупорных материалов учитывают такие свойства глин как пластичность, связывающую способность, воздушную и огневую усадку, спекаемость, огнеупорность глин. Новые материалы позволяют создавать продукцию с превосходной механической прочностью, термостойкостью и химической устойчивостью, а также устойчивостью к коррозии, прозрачности и функциональным свойствам керамики.

Рассмотрим актуальные тренды и инновации, которые определяют будущее этой отрасли и имеют долгосрочное влияние на ее развитие.

Научный и технический подход является ключевым фактором, определяющим успех и конкурентоспособность современной керамической индустрии.

Современное производство неизбежно сталкивается с вопросами окружающей среды и устойчивости. С целью снижения негативного воздействия на окружающую среду и оптимизации использования ресурсов, отрасль активно исследует и внедряет методы утилизации отходов и вторичных материалов. Использование отходов от металлургических производств, состоящих из углеродсодержащих компонентов, стекловолокну и других вторичных источников становится значимой частью сырья для производства керамических материалов, способствуя экологической устойчивости и ресурсосбережению в данной индустрии. Установлено, что использование углеродсодержащих соединений позволяет получать алюмосиликатные соединения типа анортитов, которые придают прочностные характеристики готовым керамическим изделиям [3]. Переход к утилизации отходов и вторичных ресурсов способствует экологической устойчивости и уменьшению следа углерода в производстве. Внедрение новых сырьевых материалов в керамической промышленности имеет существенное значение для снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Наноматериалы, включая наночастицы, обладают потенциалом для создания керамических материалов с уникальными характеристиками. Один из выдающихся примеров успешного использования новых сырьевых материалов - это интеграция наночастиц в керамические материалы. Так изучая опыт исследований использования синтетического оксида кремния в производстве тиглей, присутствие наночастиц способствует более плотной упаковке порошинок в ходе формирования изделия из шликера, что усовершенствует характеристики тиглей для плавки кремния [4].

Нанотехнологии позволяют создавать керамические изделия с уникальными механическими, электрическими и теплопроводными свойствами. Применение наночастиц обогатило сферу керамической промышленности, нашло практическое применение в аэрокосмической и электронной индустриях, а также привело к созданию материалов с невероятной степенью прочности и долговечности.

Помимо наночастиц, в керамической промышленности существует множество других инноваций, которые демонстрируют потенциал новых сырьевых материалов. Например, смешивание керамических материалов с углеродными нанотрубками создает композиты с уникальными свойствами, включая высокую электропроводность и

механическую прочность. Применение молекулярных структур и биокерамики в медицинских имплантах открывает новые пути для создания биосовместимых и биоразлагаемых материалов.

Важное значение имеют материалы и композиты, обладающие высокими радиационно-защитными и конструкционными свойствами, а также стойкостью к воздействию различных агрессивных сред при высоких температурах. Так доказана эффективность применения при излучениях повышенной мощности неорганических композитов на основе оксидов тяжелых металлов в сочетании с алюмосиликатной матрицей. Анализируя экспериментальные данные по подбору и исследованию керамических радиационно-защитных материалов было установлено, что введение в керамический материал оксида висмута приводит к существенному росту плотности изделий, при этом, чем больше содержание Bi_2O_3 , тем ниже температура обжига [5].

Современные технологии исследований и разработок предоставляют новые перспективы для керамической промышленности, применяя полимерные материалы как потенциальные сырьевые компоненты. Этот подход, основанный на использовании полимеров в качестве прекурсоров для керамических компонентов, открывает двери для производства керамических изделий с улучшенными механическими характеристиками и более сложными формами, чем когда-либо прежде.

Необходимо подчеркнуть, в будущем развитие в области сырьевых материалов обещает продолжать диктовать траекторию керамической промышленности. Новые инновации, включая интеграцию наноматериалов, утилизацию отходов и использование уникальных композитов, обещают расширить горизонты возможностей в производстве керамических материалов. Использование инновационных сырьевых компонентов открывает новые перспективы для дизайна и функциональных характеристик керамических материалов. Это также принесет значительные выгоды для экономики, расширяя рынки и повышая эффективность производства, а также для экологии, снижая отрицательное воздействие на окружающую среду.

Эти инновации не только формируют будущее этой отрасли, но и имеют далеко идущее влияние на экономику и окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.М. Салахов Современные керамические материалы, Министерство образования и науки РФ, Казанский федеральный университет, учебное пособие. –Казань, КФУ, 2016 – 407С.

2. Т.А. Хабас Нанопорошки металлов в технологии керамических материалов // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 11 – С. 43-44.

3. Н. К. Скрипникова, В. А. Власов, М. А. Семеновых, Г. Г. Волокитин, В. В. Шеховцов Исследование возможности использования углеродсодержащего техногенного сырья при производстве керамических изделий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2019;(6): С.115-121.

4. А.Ф. Шиманский, О.И. Подкопаев, М.Н. Васильева, Н.С. Симонова, К.Н. Фомина, Г.М. Зеера Исследование и разработка технологических режимов изготовления кварцевых тиглей для плавления кремния // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2009. Т. 2. № 4. С. 307-314.

5. С. Ю. Яшкина, В. А. Дороганов Керамические радиационно-защитные композиты высокоглиноземистого состава с добавкой оксида висмута // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2017. - № 5. - С. 70-76.

УДК 691.542:66.022.389

Неджад Асаад Мохаммед Али

*Научный руководитель: Смаль Д. В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБАВОК ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТА

Согласно данным, опубликованным Федеральной службой государственной статистики, за 12 месяцев 2014 года объем производства цемента увеличился на более чем 3,2%, почти достигнув отметки в 70 миллионов тонн. Средний расход электроэнергии на помол цемента составляет от 100 до 115 киловатт-часов на тонну цемента. Применение технологических добавок при помолу цемента позволяет снизить энергопотребление на 10-15% [1].

При выборе технологических добавок для помола цемента в настоящее время используется эмпирический подход, основанный исключительно на результатах промышленных испытаний. Доступные данные и опыт применения различных добавок недостаточны для обобщения и их обоснованного использования в производстве цемента на основе разнообразного минералогического состава клинкера. Направленность исследований на изучение механизмов и

эффективности воздействия состава добавок на процесс измельчения и физико-механические свойства цемента, учитывая минералогический состав клинкера, подчёркивает актуальность данной проблематики [1].

В данной работе исследовались добавки: литопласт 5и, pentacem 401 и coral MasterInt. Предварительно подготовили фракцию клинкера, путём его дробления и просеивания через сито с размером ячейки 5 мм. Помол проводили с использованием лабораторной мельницы объёмом 1 л и общей массой шаров 1150 г. Ассортимент мелющих тел состоял из металлических шаров диаметром 8-30 мм. Измельчаемые смеси имели постоянный состав: клинкера 95 г и гипса 5 %. Помол прекращали до достижения удельной поверхности 300 ± 20 м²/кг.

Результаты помолов представлены в табл. 1.

Укажем в таблице (1) удельную поверхности цемента с добавкой и без добавок. Заметим, что её процентное содержание увеличивается при помолу цемента с добавкой. Это также ускоряет процесс помола для получения необходимой удельной поверхности цемента.

Где Б/д это цемент без добавок, не высокая удельная поверхность при помолу цемента без добавок.

Таблица 1. Характеристика помола цемента

Наименование добавки	Кол-во добавки, %	10 мин			20 мин			30 мин			40 мин		
		Остаток на ситах, %		Суд, м ² /кг	Остаток на ситах, %		Суд, м ² /кг	Остаток на ситах, %		Суд, м ² /кг	Остаток на ситах, %		Суд, м ² /кг
		R ₀₂	R ₀₀₈		R ₀₂	R ₀₀₈		R ₀₂	R ₀₀₈		R ₀₂	R ₀₀₈	
Б/Д	-	26	12,5	110	17	6,7	187	13	1,7	260	11	0,8	284
PENTASEM 401	0,05	7	10,4	169	1,4	2,3	226	0,7	0,4	297	-	-	-
	0,5	10	10,4	122	5,5	2,5	204	1,4	0,7	293	-	-	-

Где остальные — это 0,05р, 0,5р: это цемент с добавками PENTASEM 401. Наблюдали при помолу с добавками получили высокую удельную поверхности. При измельчении в течение 10 минут удельная поверхность пробы с добавкой 0,05р составила 169 м²/кг, с добавкой 0,5р 122 м²/кг, бездобавочный образец смеси 110, м²/кг (рис. 1). Такая же тенденция наблюдается и анализе данных остатков на

ситах, применение добавок при любой концентрации обеспечивало повышенные дисперсных характеристик.

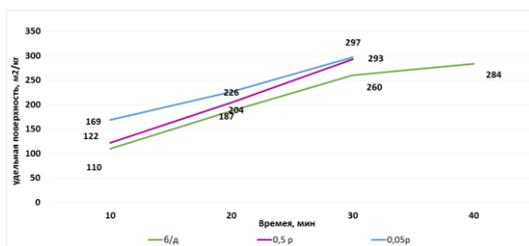


Рис. 1. Удельная поверхность при помоле цемента, м²/кг

Как показано на рисунке 1, мы видим, что при измельчении в течение 30 минут с добавками (0,05р = 297 м²/кг, 0,5р = 293, м²/кг) мы достигли требуемого результата, тогда как, цемент без добавки без добавки измельчили до 284 м²/кг за 40 минут. Это преимущество косвенно может способствовать снижению расхода энергии на помол при сохранении дисперсности.

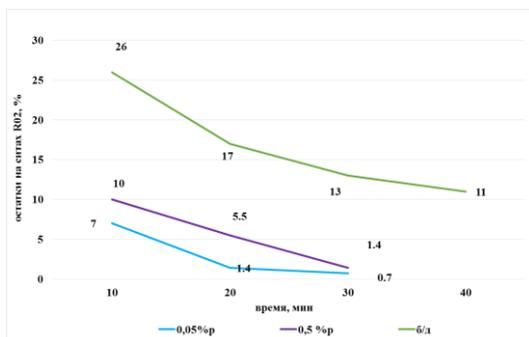


Рис. 2. Остатки на ситах R02, % при помоле клинкера

Зависимости, представленные на рис. 2-3 подтверждают эффективность использования исследуемых добавок.

Вероятно, данный эффект заключается в адсорбции молекул интенсификатора на поверхность положительно заряженных зерен материала и создании на его поверхности ионного слоя. При этом зерна приобретают одноимённый заряд, который отталкивает зерна друг от друга, от мелющих тел и от бронефутеровки мельницы. Это способствует: предотвращению агрегации мелких частиц, а именно, налипания материала к шарам и бронефутеровке мельниц, тем самым повышая энергию удара мелющих тел.

Таблица 2. Определение прочности цементного камня при сжатии на 2 суток

Вид	Без добавок	Coral masterInt			Литопласт 5и		
	Б/д	К1	К2	К3	С1	С2	С3
Конц, %	0	0,05	0,5	0,1	0,05	0,5	0,1
Прочность, мПа	20,81	24,27	26,61	31,81	28,45	29,01	38,16

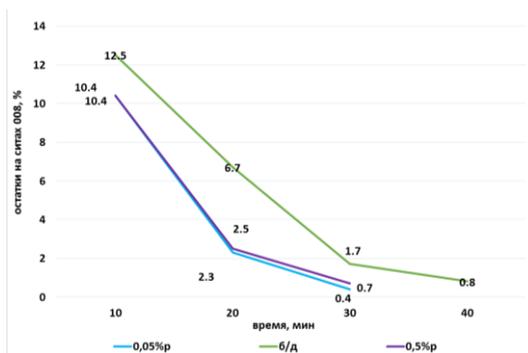


Рис. 3. Остатки на ситах R008, % при помоле клинкера

Из полученных цементов были сформированы малые образцы кубики размером 1,41×1,41×1,41. Для определения предпочтения будем принимать по одной концентрации каждой технологической добавки Coral masterInt (К1 = 24,27 мПа, конц = 0,05%) и Литопласт 5и (С1 = 28,45 мПа, конц = 0,5%), а также (б/д = 20,81 мПа) цемент без добавки.

Согласно результатам (табл. 2, рис. 4), установлено, что применение интенсификаторов помола обеспечивало повышение прочностных характеристик, независимо от их концентрации в цементе.

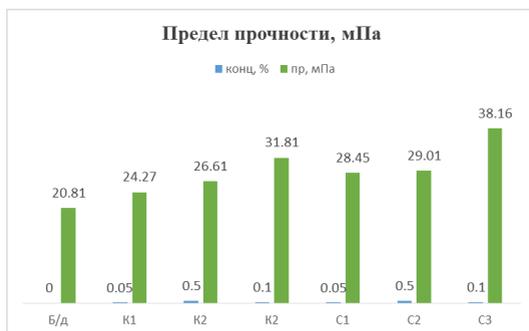


Рис. 4. Определение прочности цементного камня при сжатии на 2 суток

В ходе исследования мы заметили, что помол без технологических добавок в цемент, занимает больше времени, а, следовательно, и потребляет больше энергии, по сравнению с пробами, измельчёнными в присутствии интенсификаторов помола.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахова, Л.Д. Интенсификация процесса измельчения клинкера с применением интенсификаторов помола / Л.Д. Шахова, Р.А. Черкасов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2014. - № 3. - С. 124-127.

УДК 674.048

Писанная В.В.

Научный руководитель: Руденко О.Л. асс.

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

АНТИСЕПТИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ

Антисептирование – процесс обработки различных материалов, в том числе и древесины, с целью защиты от поражения различными видами грибов и насекомых, разрушающих структуру древесины. Технология антисептирования древесины заключается в обработке материала специальными защитными растворами и пропитками, которые позволяют защитить древесину от гниения и поражения насекомыми.

Древесина относится к натуральным природным экологически чистым материал. Пористая структура древесины позволяет пропускать воздух, пары влаги. Древесное вещество может как накапливать влагу,

так и выделять ее в окружающую среду. Данный процесс называется сорбция – десорбция. В зависимости от уровня внутренней влажности древесины будет зависеть ее возможность поражаться бактериями и спорами грибов и гнилей. [1]

С изменением влажности древесина подвержена разбуханию и усыханию. При этом зачастую возникают внутренние напряжения, приводящие к растрескиванию древесины. В первую очередь трещины появляются в торцах. Поэтому, торцы необходимо защищать от растрескивания в первую очередь. Это касается как свежесрубленной древесины, так и высушенной. Торцевые трещины очень сложно обработать и защитить внутренние слои древесины от поражений.

Антисептированию необходимо подвергать деревянные изделия, работающие или использующиеся на открытом воздухе – мебель ландшафтная, заборы, строения из древесины и древесных материалов. Зачастую антисептирование совмещают с отделкой наружных поверхностей деревянных строений и изделий защитными лакокрасочными материалами и средствами от поражения огнем – антипиренами (рис. 1).



Рис. 1. Обработка деревянного сруба лакокрасочными материалами с одновременным антисептированием.

В зависимости от целей обработки и конкретных применений, могут использоваться различные вещества на основе меди, цинка, бора и других минеральных солей, а также соединений, содержащих хром.

Антисептирование древесины – опасный для здоровья процесс, который необходимо выполнять в защитных костюмах, предотвращающих попадание состава на поверхность кожи, а также использование респираторных масок для защиты дыхательных путей. При отсутствии средств защиты – лучше доверить этот процесс профессионалам.[2][3]

К методам или способам антисептирования можно отнести следующие процессы: метод окунания (рис. 2), метод поверхностного нанесения валиком или кисточкой, а также термобарической обработки чередованием вакуум-давление, позволяющий наиболее глубоко проникать защитным растворам в древесину. Такой способ наиболее качественен, но в то же время и самый дорогой.



Рис.2 Обработка оцилиндрованного бревна защитными растворами методом окунания.

Также стоит отметить, что наряду с технологией химической обработки, применяется метод термической обработки, которая основана на нагреве древесины до высоких температур, более 100° (рис. 3), или обработка древесины ультразвуковыми волнами, которые позволяют уничтожить бактерии и вирусы внутри древесины.



Рис. 3. Камерная термическая обработка древесины.

Сегодня на рынке представлено достаточно много различных видов антисептиков, отличающихся по назначению, защитному

воздействию, основе, категории экологического воздействия и др. факторов.

Антисептики классифицируют на:

- на масляной основе. Применяются для наружных работ: обработка фасадов, торцов и чашек бревен, свесов. Предохраняют от осадков и водяных паров, т. к. образуют на обрабатываемой поверхности защитный слой, как и любое масло для дерева.

- на водной основе. Их используют для защиты от гниения, появления плесени и грибка на различных поверхностях, в т. ч. с повышенной влажностью. Они не образуют герметичной пленки, а значит, не препятствуют естественному «дыханию» дерева.

- органические. В их основе — органические растворители. Такие пропитки немного изменяют внешний вид дерева, углубляя его структуру и текстуру. Недостатком таких растворов является коррозия металлических элементов. Поэтому их наносят только на деревянные поверхности, тщательно защищая металл (водостоки, откосы и другие элементы).

- комбинированные. Одни из самых функциональных средств защиты древесины. Могут содержать не только обеззараживающие компоненты, но и антипирены, защищающие от горения; защиты от ультрафиолета на солнце; красящие пигменты.[4][5]

Технология антисептической обработки деревянных конструкций и изделий состоит из нескольких стадий:

Первая стадия – подготовительная. На этой стадии происходит очистка и зачистка древесины от засохших остатков, грязи, пыли, т.е. внешних загрязнений. Если на поверхности древесины имеются рубцы или трещины, то их заклеивают специальными составами.

Вторая стадия – нанесение раствора антисептика на поверхность древесины. Раствор может наноситься путем погружения, распыления, кистью (рис. 4) и т.д. Полученное покрытие создает защитный барьер, который предотвращает развитие бактерий, насекомых и плесневых грибков внутри древесины.

Третья стадия – сушка. Промышленная сушка проводится с использованием специальных камер и установок, которые позволяют быстро высушить древесину до нужной влажности и создать оптимальные условия для сохранения качества антисептированного материала.[6][7]

Также существуют современные технологичные антисептики, которые содержат полимерные добавки, ускоряющие процесс проникновения вещества в поры древесины. Они формируют на

поверхности дерева защитный слой, который не дает шансов грибкам и насекомым на ее разрушение.

По завершению процесса антисептирования древесина становится более прочной и стойкой к внешним воздействиям, при этом сохраняет природную красоту и теплоту материала. После обработки древесина может использоваться в различных конструкциях, в том числе при строительстве домов, беседок, дачных домов и других объектов.

Сфера строительства домов из дерева – одна из тех, где антисептирование наиболее востребовано. В частности, обязательной обработке антисептиком подвергаются такие элементы, как силовая рама, половые лаги и черновые полы. Дополнительно могут обрабатываться стены, перегородки, несущие потолочные балки и стропильный каркас.

Антисептирование срубов деревянных домов, саун и бань необходимо для защиты древесины от разрушительного воздействия грибков, насекомых, плесени и других микроорганизмов. Антисептики помогают продлить срок эксплуатации деревянной конструкции, сохраняя ее красоту и силу.



Рис. 4. Нанесение защитного раствора на внешнюю поверхность деревянного сруба.

Важно помнить, что для достижения максимальной эффективности антисептирования, необходимо правильно выбрать антисептик. Также следует учитывать условия эксплуатации деревянной конструкции и проводить регулярную профилактику.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Экологические аспекты деревянного домостроения / С. И. Овсянников, И. Богданов, А. Федоренко // Энерго- и

ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды : междунар. науч.-техн. конф. : сб. докл. (Белгород, 24-25 нояб. 2015 г.). - Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2015. Ч. II. - С. 236-241.

2. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. Защита древесины. Платонов А.Д., Курьянова Т.К. - Воронеж, 2015. - 204 с.

3. Антисептические вещества для древесных материалов. Ставничий А.Д. Форум молодых ученых. - 2019. - № 1-3 (29). - С. 427-431.

4. Способ антисептирования древесины. Беляев Е.Ю., Ермолин В.Н., Жуков А.И., Задов В.Е., Кабаков В.Г., Ковригин Ю.А., Скобелев В.В., Тетерина В.А. Патент на изобретение RU 2180616 С2, 20.03.2002. Заявка № 2000106972/04 от 21.03.2000.

5. Защита древесины от процессов гниения. Ставничий А.Д. / В сборнике: European Scientific Conference. сборник статей V Международной научно-практической конференции: в 3 частях. - 2017. - С. 324-326.

6. Минибаев А.А., Овсянников С.И. Исследование свойств и преимуществ термически модифицированной древесины / В сборнике: Наука и инновации в строительстве. Сборник докладов V Международной научно-практической конференции. В 2-х томах. - Белгород, - 2021. - С. 189-195.

7. Овсянников С.И., Радионов А.С. Экспертиза в деревянном домостроении / В сборнике: Современные технологии деревообрабатывающей промышленности. // Материалы международной научно-практической онлайн-конференции. - 2018. - С. 277-282.

8. Лесовик В.С. Огнебиозащитные средства для деревянных строений и конструкций / В.С. Лесовик, С.И. Овсянников, А.В. Федоренко // В сборнике: Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. международная научно-техническая конференция. - 2015. - С. 222-228.

9. Грошиков В.В., Овсянников С.И. Метод ускоренной импрегнации древесины / Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2014. Т. 2. - № 3-2 (8-2). - С. 309-310.

Плотников Д.А, Шахова А.В.

*Научный руководитель: Онищук В.И., канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

Стекольное производство является одновременно выгодной и энергоёмкой отраслью. Ключевой задачей в данной отрасли является повышение эффективности процесса варки стекла и снижение энергетических затрат. Для улучшения экономической эффективности процесса стекловарения необходимо проводить модернизацию теплотехнического оборудования и сокращать потребление энергоресурсов, не уменьшая при этом объёмы производства [1].

Одним из эффективных методов повышения тепловой энергоэффективности стекловаренных печей является внедрение систем дополнительного электрического подогрева (ДЭП) с мощностью от 50 до 2500 кВт. Применение таких систем значительно увеличивает эффективность использования тепловой энергии, поскольку генерирует тепло непосредственно в бассейне со стекломассой, что повышает эффективность плавления сырья и увеличивает производительность стекловаренных печей [2, 3].

Существует несколько схем реализации дополнительного электрического подогрева, причем для решения определенной технологической задачи, определяющей достижения заданного эффекта в каждом конкретном случае используется определенная схема установки токоподводящих элементов в бассейн стекловаренной печи. При необходимости существенного повышения производительности стекловаренной печи без увеличения геометрических размеров ее бассейна, реализуют систему «варочный ДЭП» (Рис. 1,а), а если требуется фиксация зоны максимальных температур (квельпункта) – используют систему «барьерный ДЭП» (Рис.1,б). Поскольку успешность процесса стекловарения определяется многими факторами и сам процесс требует управления в режиме «on-line», то в печах очень часто устанавливают систему «проточный ДЭП», который обеспечивает управление температурой в протоке печи в случае нарушения теплового режима ее варочной части (Рис. 1,в) [2,3].

Поскольку дополнительная генерация тепла осуществляется в

самом объеме стекломассы, то и изменяется потребность в количествах тепла, генерируемых путем сжигания топлива, поэтому тепловой баланс печи существенно изменяется.

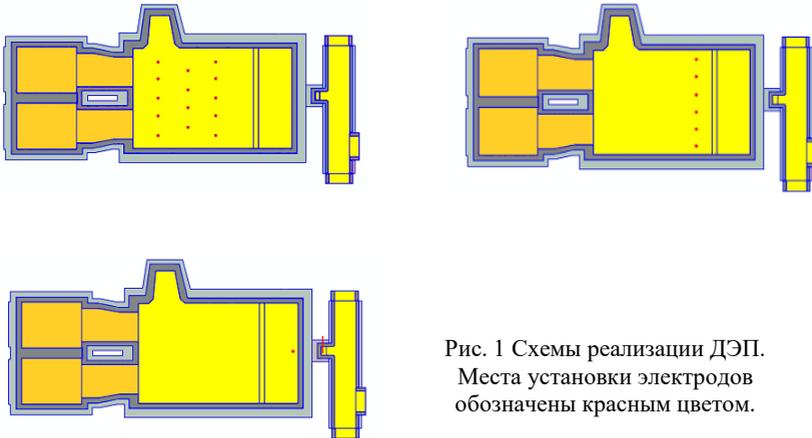


Рис. 1 Схемы реализации ДЭП. Места установки электродов обозначены красным цветом.

Рассмотрим базовый тепловой баланс печи, когда тепло на варку стекла генерируется только путем сжигания топлива.

В этом случае приходная часть баланса состоит из тепловых потоков, образующихся при сжигании природного газа (1) и поступающего в печь для горения газа воздухом, нагретом в теплообменных устройствах – регенераторах:

$$\Phi_T = Q_n^p \cdot X, \text{ кВт} \quad (1)$$

где: Q_n^p - химическая теплота горения топлива; кДж/м^3 ;
 X – удельный расход топлива, $\text{м}^3/\text{с}$;

$$\Phi_B = L_\alpha \cdot C_B \cdot t_B \cdot X, \text{ кВт} \quad (2)$$

где: L_α - действительное количество атмосферного воздуха, идущего на горение природного газа, $\text{м}^3/\text{м}^3$; C_B – теплоемкость нагретого воздуха, $\text{кДж/м}^3 \cdot \text{К}$; t_B – температура нагрева воздуха регенераторе, $^\circ\text{C}$;
 X – удельный расход топлива, $\text{м}^3/\text{с}$.

Из приведенных уравнений видно, что количество генерируемого тепла зависит от теплотворной способности природного газа, определяемого его химическим составом, температурой нагрева воздуха, а также от удельного расхода, подаваемого на горение, природного газа и связанного с ним количеством воздуха.

В рассматриваемом случае расходная часть теплового баланса печи будет включать следующие статьи: расход тепла на процессы стеклообразования, $\Phi_{ст.}$ (3), тепловой поток с отходящими дымовыми

газами, $\Phi_{д.г.}$ (4), тепловой поток теряемый излучением (лучеиспусканием) из зоны варки, $\Phi_{л}$ (5), тепловой поток теряемый в окружающую среду через огнеупорную кладку (дно, стены, свод) стекловаренной печи, $\Phi_{окр}$ (6), потери тепла с выбивающимися газами, $\Phi_{газ}$ (7) и неучтенные потери тепла, связанные с износом печи во время ее эксплуатации, $\Phi_{изн}$ (8).

$$\Phi_{ст.} = n \cdot g, \text{ кВт} \quad (3)$$

где: n – теоретические затраты тепла на варку стекла, кДж/кг;

g – количество навариваемой стекломассы, кг/с.

$$\Phi_{д.г.} = V_{д.г.} \cdot t_{д.г.} \cdot C_{д.г.} \cdot X, \text{ кВт} \quad (4)$$

где: $V_{д.г.}$ – удельный объем образующихся продуктов горения (дымовые газы), $\text{м}^3/\text{м}^3$; $C_{д.г.}$ – теплоемкость дымовых газов, кДж/м³·К; $t_{д.г.}$ – температура дымовых газов, °С; X – удельный расход топлива, м³/с.

$$\Phi_{л} = \sum \frac{C_0 \cdot \varphi \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]}{1000}, \text{ кВт} \quad (5)$$

где: C_0 – коэффициент излучения, Вт/(м²·К⁴); φ – коэффициент диафрагмирования; F – площадь поверхности излучения, м²; T_1 и T_2 – температуры соответственно теплоизлучающей и тепловоспринимающей среды.

$$\Phi_{окр} = \sum q \cdot F, \text{ кВт} \quad (6)$$

где: q – удельный тепловой поток, кВт/м²; F – площадь поверхности, м².

$$\Phi_{газ} = 0,03 \cdot \Phi_{прих} \cdot X, \text{ кВт} \quad (7)$$

где: $\Phi_{прих}$ – суммарный тепловой поток прихода тепла, кВт; X – удельный расход топлива, м³/с.

$$\Phi_{изн} = 0,1 \cdot \Phi_{прих} = 5127,452 \cdot X, \text{ кВт} \quad (8)$$

Для исследования изменения структуры теплового баланса стекловаренной печи без и с применением систем ДЭП было рассчитано 3 варианта:

- вариант №1 – без системы ДЭП (генерация тепла только путем сжигания газа и воздуха, нагретого в регенераторах;
- вариант №2 – система ДЭП генерирует до 5% от суммарной генерации тепла по варианту №1;
- вариант №3 – система ДЭП генерирует до 10% от суммарной генерации по варианту №1).

Следует отметить, что вариант №2 используется в практике стекловарения, когда необходимо реализовать барьерный ДЭП, а вариант 3 используется наиболее распространено в качестве варочного ДЭП, устанавливаемого в районе загрузочных карманов стекловаренных печей, что позволяет значительно повысить варочный

потенциал печей за счет ускорения протекания реакций силикато- и стеклообразования. Также следует добавить, что после пересчета в процентном выражении доля тепла, вносимого ДЭП, увеличивается на 2-3%.

Тепловой баланс стекловаренной печи, по всем трем вариантам рассчитан для следующих исходных данных: печь ванная регенеративная с подковообразным направлением пламени, производительность 200 тонн стекломассы в сутки, площадь варочного бассейна 93 м², теплотворная способность топлива Q_n^p составляет 35100 кДж/м³, действительное количество воздуха, подаваемого на горение природного газа с коэффициентом избытка воздуха $\alpha=1,2$ составляет $L'_{\alpha}= 11,37 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Общее количество дымовых газов при горении природного газа, согласно расчету горения газа, составляет $V_{д.г.}= 12,37 \text{ м}^3/\text{м}^3$, температура нагрева в регенераторах подаваемого на сжигание газа воздуха составляет 1200°С. Обозначения статей приходных и расходных статей теплового баланса представлены в виде условных обозначений.

Таблица 1 – Тепловой баланс стекловаренной печи без ДЭП

Статьи прихода	Тепловой поток		Статьи расхода	Тепловой поток	
	кВт	%		кВт	%
1. Φ_T	13290,4	62,37	1. $\Phi_{ст.}$	6009,67	28,08
2. Φ_B	8019,85	37,63	2. $\Phi_{д.г.}$	11841,96	55,34
			3. Φ_L	391,75	1,83
			4. $\Phi_{окр}$	384,957	1,8
			5. $\Phi_{газ}$	639,309	2,99
			6. $\Phi_{изн}$	2131,025	9,96
Итого:	21310,25	100	Итого:	21398,67	100

Невязка теплового баланса варианта №1 составила 0,02%, удельный расход топлива, $X= 0,379 \text{ м}^3/\text{с}$, а общий КПД печи: $\eta_{общ} = 28,2 \%$.

Тепловой баланс варианта №2 (Табл.2), показывает, что структура его изменяется как в приходной, так и расходной частях.

Таблица 2 – Тепловой баланс стекловаренной печи (ДЭП 5%)

Статьи прихода	Тепловой поток		Статьи расхода	Тепловой поток	
	кВт	%		кВт	%
1. Φ_T	11176,16	58,87	1. $\Phi_{ст.}$	6009,67	35,88
2. Φ_B	6744,05	35,52	2. $\Phi_{д.г.}$	8074,31	48,21
3. $\Phi_{дэп}$	1056,51	5,61	3. $\Phi_{л.}$	391,75	2,34
			4. $\Phi_{окр.}$	384,96	2,30
			5. $\Phi_{газ.}$	435,91	2,60
			6. $\Phi_{изн.}$	1453,01	8,67
Итого:	18985,73	100	Итого:	19074,15	100

Невязка баланса варианта №2 составила 0,00004, расход топлива, согласно расчетам, составил $X = 0,318 \text{ м}^3/\text{с}$, а общий КПД печи: $\eta_{общ} = 31,65 \%$.

При этом видно, что тепловой поток варианта №2 от горения природного газа снизился от 62, 37% до 58,87, что связывается со снижением удельного расхода топлива X с $0,379 \text{ м}^3/\text{с}$ до $0,318 \text{ м}^3/\text{с}$, а общий КПД варианта №2 увеличился по сравнению с вариантом №1 с 28,08% до 31,65%, т.е на 3,57%.

Подобная тенденция сохраняется и при увеличении доли участия системы ДЭП до 10% в общем балансе прихода тепла. Так, тепловой поток в варианте №3, получаемых при сжигании природного газа, уменьшается с 62, 37% до 54, 39, что связывается со снижением его удельного расхода X с $0,379 \text{ м}^3/\text{с}$ до $0,258 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом, общий КПД печи в варианте №3 увеличился в сравнении с вариантом №1 с 28,08% до 36,07%, т.е. на 7,99%.

Вместе с тем необходимо отметить, что увеличение доли тепла генерируемого ДЭП обеспечивает значительное снижение количества образующихся дымовых газов, что снижает «углеродный след» от работы стекловаренных печей, улучшая экологическую обстановку как в производственных цехах, так и в прилегающих к стекольным заводам территориях [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Онищук В. И., Яндачек П., Ковач М., Зозуля Ю. Г., Костенко С. Е. Моделирование энергоэффективных стекловаренных печей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. №5. С. 169-175.
2. Хейкс С., Ковач М., Онищук В. И., Зозуля Ю. Г. Дополнительный электроподогрев // Glass Russia. 2014. С. 28 –32.
3. Мюсенберг Э., Мюсенберг М., Кробот Т., Онищук В. И.,

Зозуля Ю. Г. Профессиональный взгляд на обустройство дополнительного электрического обогрева в стекловаренной печи // Glass Russia. 2014 г. С. 30–34.

4. Костенко С. Е., Онищук В. И., Жерновая Н. Ф. Современные стекловаренные печи и пути повышения их технико-экономических показателей // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2010. №3. С. 127 – 130.

УДК 666.1.031.1

Плотников Д.А., Шахова А.В.

*Научный руководитель: Онищук В.И., канд. техн. наук, проф.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СНИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КИСЛОРОДНОГО СЖИГАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Стекланные изделия находят широкое применение в различных секторах экономики, будучи неотъемлемым элементом в строительстве и производстве, а также отвечая за потребности повседневной жизни граждан. Стекло, благодаря своим выдающимся характеристикам, таким как огнеупорность, водонепроницаемость, морозоустойчивость, непроводимость электрического тока и неподверженность реакциям с химическими элементами, зарекомендовало себя как универсальный материал в медицине, промышленности, строительстве и других областях.

Процесс производства стекла требует значительных затрат энергии, что делает вопросы повышения энергоэффективности и минимизации воздействия на окружающую среду особенно актуальным. В процессе варки стекла, происходящем при высоких температурах, протекают химические реакции, сопровождающиеся выделением вредных веществ. Для минимизации рисков для здоровья людей и окружающей среды применяются меры, включающие герметизацию производственных печей и установку систем вентиляции для очистки воздуха от вредных примесей.

Процесс производства стекла сопряжён с использованием различных материалов, что влечёт за собой возникновение выбросов в атмосферу на этапах подготовки, обработки и использования исходных материалов. В числе основных загрязнителей, выделяемых в процессе производства стекла, находятся оксиды серы и азота, диоксид углерода, а также выбросы тяжёлых металлов. Уже на стадии подготовки

сырьевой смеси, известной как шихта, происходит выделение значительных объёмов пыли, что требует принятия мер по минимизации загрязнения атмосферы [1].

Применение природного газа в производственном процессе способствует уменьшению концентрации оксидов в отходящих газах и снижению содержания сульфата натрия и кальция в шихте. Одним из наиболее эффективных методов сжигания топлива является кислородное сжигание, предполагающее использование кислорода вместо воздуха, что приводит к образованию более высокой температуры и более чистых дымовых газов по сравнению с традиционными методами сжигания. Главным достоинством кислородного сжигания является снижения объёмов выбросов вредных веществ, включая оксиды азота и серы, а также общего количества вредных газов, делая процесс более экологичным и эффективным [2].

Данная технология находит применение в различных сферах промышленности, включая стекольную индустрию, металлургию, нефтепереработку и химическую промышленность, и может использоваться для сжигания разнообразных видов топлива. Применение кислорода обеспечивает более полное сгорание топлива, что позволяет уменьшить его расход и сократить объёмы вредных выбросов. Кроме того, повышение температуры горения способствует ускорению процесса плавления стекла и снижению времени работы печи, что ведёт к экономии энергии и повышению производственной эффективности [3].

Однако следует отметить, что кислородное сжигание топлива требует наличия специализированного оборудования и высокой точности в регулировании процесса для предотвращения возможных аварий и повреждений оборудования. Кислород подаётся в стекловаренные печи через специальные системы подачи воздуха, а в некоторых случаях может быть выделен из воздуха печи с помощью кислородных концентраторов. Это обеспечивает более высокую температуру и эффективность процесса плавления стекла.

Применение кислорода для сжигания топлива не является методом, который находит применение во всех сферах промышленности. В частности, в производстве стекла, операторы стекловаренных печей стремятся к точному контролю за температурой в зоне горения, чтобы обеспечить условия, подходящие как для материала печи, так и для процесса получения стекла высокого качества. Использование кислорода для сжигания, как правило, не ведёт к повышению температуры внутри печи, но может способствовать более эффективному распределению тепла. Такой подход требует более

внимательного контроля за температурными показателями, хотя эти показатели обычно не превышают те, что наблюдаются при сжигании в атмосфере обычного воздуха, за исключением температуры в самом центре пламени [3].

Для исследования эффективности снижения углеродного следа от стекловаренных печей при использовании частичного кислородного сжигания природного газа, было рассчитано 2 варианта:

1. Для горения используется только атмосферный воздух;
2. Замена атмосферного воздуха на кислород составляет 5% (атмосферный воздух 95%, кислород 5%)

Материальный и тепловой балансы стекловаренной печи, по всем трем вариантам рассчитаны для следующих исходных данных: печь ванная регенеративная с подковообразным направлением пламени, производительность 180 тонн стекломассы в сутки, площадь варочного бассейна 120 м², теплотворная способность топлива $Q_{\text{н}}^p$ составляет 35592 кДж/м³, действительное количество воздуха, подаваемого на горение природного газа с коэффициентом избытка воздуха $\alpha=1,18$ составляет $L_{\alpha}= 11,33$ м³/м³. Общее количество дымовых газов при горении природного газа, согласно расчету горения газа, составляет $V_{\text{дг.}}= 12,7$ м³/ м³, температура нагрева в регенераторах подаваемого на сжигание газа воздуха составляет 1200 °С. Обозначения статей приходных и расходных статей материального и теплового балансов представлены в виде условных обозначений.

Таблица 1 – Материальный баланс процесса горения без использования кислорода

Статьи прихода	кг	Статьи расхода	кг
Природный газ:		Продукты горения:	
CH_4	69,63	CO_2	196,11
C_2H_6	0,92	H_2O	174,23
C_3H_8	0,63	N_2	1103
C_4H_{10}	0,11	O_2	51,01
C_5H_{12}	0,1		
N_2	1,04		
H_2O	0,8		
Воздух:			
O_2	334,6		
N_2	1101,94		
H_2O	14,34		
Итого:	1524,11	Итого:	1524,35

Материальный баланс варианта №2 (Табл. 2), показывает, что

структура его изменяется в приходной части и расход атмосферного воздуха уменьшается на горение того же количества топлива.

Таблица 2 – Материальный баланс процесса горения при использовании кислорода 5%

Статьи прихода	кг	Статьи расхода	кг
Природный газ:		Продукты горения:	
CH_4	69,63	CO_2	196,11
C_2H_6	0,92	H_2O	174,23
C_3H_8	0,63	N_2	1103
C_4H_{10}	0,11	O_2	51,01
C_5H_{12}	0,1		
N_2	1,04		
H_2O	0,8		
Воздух:			
O_2	317,8		
N_2	1046,84		
H_2O	14,34		
Кислород			
O_2	16,7		
Итого:	1454,57	Итого:	1524,35

Таблица 3 – Тепловой баланс стекловаренной печи с атмосферным воздухом

Статьи прихода	Тепловой поток		Статьи расхода	Тепловой поток	
	кВт	%		кВт	%
1. Φ_T	17297,712	62,7	1. $\Phi_{ст.}$	5204,7	20,1
2. Φ_B	10292,615	37,3	2. $\Phi_{д.г.}$	15564,68	60,1
			3. $\Phi_{л.}$	1271,24	4,9
			4. $\Phi_{окр.}$	743,34	2,9
			5. $\Phi_{газ.}$	721,92	2,8
			6. $\Phi_{изн.}$	2406,41	9,2
Итого:	27590,327	100	Итого:	25912,29	100

Удельный расход топлива в варианте №1 составляет $X=0,486\text{м}^3/\text{с}$.

Тепловой баланс варианта №2 (Табл.4), показывает, что его структура изменяется в расходной части.

Таблица 4 – Тепловой баланс стекловаренной печи при использовании кислорода 5%

Статьи прихода	Тепловой поток		Статьи расхода	Тепловой поток	
	кВт	%		кВт	%
1. $\Phi_{\text{т}}$	17297,712	62,7	1. $\Phi_{\text{ст.}}$	5204,7	22,4
2. $\Phi_{\text{в}}$	10292,615	37,3	2. $\Phi_{\text{д.г.}}$	12903,74	55,5
			3. $\Phi_{\text{л}}$	1271,24	5,5
			4. $\Phi_{\text{окр}}$	743,34	3,2
			5. $\Phi_{\text{газ}}$	721,92	3,1
			6. $\Phi_{\text{изн}}$	2406,41	10,3
Итого:	27590,327	100	Итого:	23251,35	100

Удельный расход топлива, согласно расчетам, в варианте №2 составил $X=0,43 \text{ м}^3/\text{с}$, уменьшаются потери теплового потока с уходящими дымовыми газами и в процентном соотношении больше теплоты идет на процесс стеклообразования.

Подобная тенденция сохраняется и при увеличении доли участия кислорода до 10% в общем балансе расхода тепла. Так, тепловой поток в варианте №3, который расходуется на процесс стекловарения, увеличивается с 20,1% до 23,8%. При этом, удельный расход топлива X снижается с $0,486 \text{ м}^3/\text{с}$ до $0,4 \text{ м}^3/\text{с}$. Потери тепла с уносом дымовых газов в варианте №3 в сравнении с вариантом №1 уменьшаются с 60,1% до 52,7%, т.е. на 7,4%.

Особое внимание заслуживает тот факт, что использование кислорода в процессе сжигания топлива в стекловаренных печах значительно увеличивает их энергоэффективность, при этом резко снижаются объёмы выделения оксида азота и других отходящих газов, а также общий объём выбросов. Это способствует решению проблемы сокращения вредных выбросов в атмосферу в районах расположения стекольных производств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлюченко, В.Г. Влияние концентрации кислорода на процесс сжигания газообразного топлива / В. Г. Павлюченко, В. С. Францкевич // Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, 2018. С. 100-105.

2. Жерновая, Н.Ф. Технология листового стекла и стеклоизделий / Н. Ф. Жерновая // Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, 2008. С.22.

3. Костенко, С.Е. Современные стекловаренные печи и пути повышения их технико-экономических показателей: статья / С.Е.

Костенко, В.И. Онищук, Н.Ф. Жерновая // Белгород: Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова, 2010. С. 20.

УДК 666.9.015.224

Сапрыкин Д.С.

*Научный руководитель: Черкасов А.В. канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА АО «ЕВРАЗ ВАНАДИЙ ТУЛА» В ПРОИЗВОДСТВЕ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ.

Еще в древности люди использовали глину, гипс и известь для создания строительных растворов. В Египте использовали гипсовые растворы для строительства пирамид, а в Месопотамии – глиняные растворы для кирпичной кладки.

Цемент – один из самых важных строительных материалов, основа бетона, без которого не обходится практически ни одна стройка. Путь от карьера до готового мешка с цементом – это сложный, многоступенчатый процесс.

Производство различных современных продуктов неизбежно связано с образованием большого количества отходов, в том числе гипса. Вместо того, чтобы рассматривать гипсовые отходы как обузу, их можно эффективно использовать в цементной промышленности, получая как экономические, так и экологические преимущества. Использование побочных продуктов и отходов одних производств для получения вяжущих материалов, в последнее время имеет восходящий тренд.

Природный гипс и ангидрит являются практически мономинеральными горными породами, каждая из которых состоит из одноименного минерала (гипса и ангидрита), обычно с некоторой примесью кварца, карбонатов, глинистого материала, реже битуминозных веществ, пирита и др.

В последнее время используются различного рода отходы металлургических производств: никелевые, медные, марганцовистые, титанистые, фосфорные и др. шлаки. Все эти материалы в том или ином количестве содержат химические соединения (Mn_2O_3 , TiO_2 , Cr_2O_3 , P_2O_5 , FeO и др.), способные к минерализующему действию на процесс клинкерообразования. Эти оксиды влияют на процессы клинкерообразования, фазовый состав клинкера и свойства цемента.

Использование гипсовых отходов в цементной промышленности – это разумное решение, которое способствует устойчивому развитию. Переработка отходов не только экономически выгодна, но и уменьшает негативное воздействие на окружающую среду, одновременно улучшая качество цементной продукции, но и уменьшает негативное воздействие на окружающую среду, одновременно улучшая качество цементной продукции.

Использование минерализаторов на основе гипсосодержащих побочных продуктов и отходов при обжиге клинкера позволяет повысить реакционную способность цементной сырьевой смеси. Тем самым улучшить условия образования минералов, составляющих клинкер, в первую очередь двухкальциевого и трехкальциевого силиката и снизить температуру обжига. [1,2]

В данной работе будет рассмотрен побочный продукт композиции известково-гипсовая ОА «Евраз Ванадий Тула».

Ванадий из руд извлекается пирогидрометаллургическим (50-60% мирового производства, руды с низким содержанием ванадия) и гидрометаллургическим (богатые ванадием руды) методами. Обжиг с избытком кальция с последующим водным выщелачиванием, используется для увеличения степени перевода ванадия в водорастворимую форму, чтобы в последующем получить растворы с меньшим содержанием других металлов, выделить из них ванадат кальция, прокалив который получить чистый пентоксид ванадия.

Исследуемый продукт композиция Известково-Гипсовый (в дальнейшем КИГ) представляет собой шлам с желтовато-коричневым оттенком, плотностью от 0,7 до 1 тонны и влажностью от 35% до 55%, имеет рН 7 – 9, содержание гидратной влаги до 21 %.

Химический состав представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав КИГ

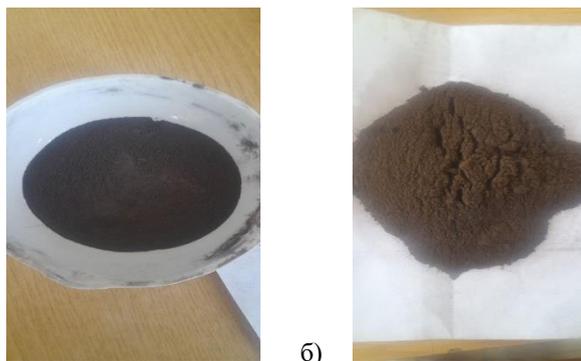
CaO	MnO	CaSO ₄	MgO	V ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Fe	TiO ₂	SrO ₂
не менее 10	не более 30	не менее 20	не более 6	не более 5	не более 1	не более 3	не более 2	не более 6

Были отобраны навески, массой 150 грамм, КИГ-а, которые подверглись термической обработке при температуре 60 °С в течении 24-х часов и прокаливанию при 400 °С для удаления гидратной влаги. Затем были измельчены в фарфоровой ступке.

Были замечены изменения цвета (рис.1) и массы. В следствии окисления железа и оксида марганца происходит окраска смеси в

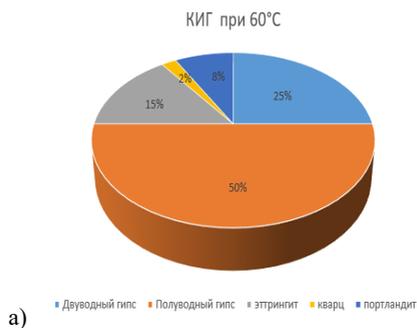
черный цвет. Изменение массы связано с удалением части химически связанной влаги и конечная масса навески составила 82,87 грамма.

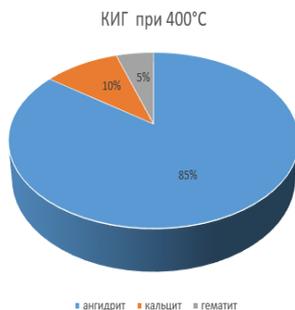
Пробы были исследованы с помощью рентгенофазового анализа (рис. 2).



а) б)
Рис. 1 Высушенный и измельченный КИГ при 60°C (а) прокаливанию при 400 °C (б).

Как видно из диаграмм при термической обработке 400°C происходит изменение минералогического состава, двухводный гипс, полуводный гипс и этtringит переходят в растворимый ангидрит.





б)

Рис. 2 а) Диаграммы высушенного КИГ- а при 60°С, б) прокаленного КИГ- а при 400°С.

В технологическом процессе получения портландцементного клинкера и производства портландцемента первостепенное значение имеет химический состав сырьевой шихты, а также химический и минералогический состав клинкера.

Для дальнейшего исследования была подобрана шихта на компонентах ЗАО “Осколцемент” со следующим составом:

Таблица 2 – Состав сырьевых компонентов

%				г/кг клинкера			
Мел	Глина	Огарки	Боксит	Мел	Глина	Огарки	Боксит
76,95	19,41	1,81	1,79	1178	297,7	27,8	27,4

Далее было произведено 4 контрольных обжига в интервале температур 1300 – 1400°С с выдержкой 30 минут. Ввод КИГ-а составил 1%, 2%, 3% и 4% сверх массы сырьевой шихты.

По содержанию $\text{CaO}_{\text{св}}$ и коэффициенту α сырьевых шихт №1, №2, №3, №4 при температуре 1400°С можно сделать вывод о их высокой реакционной способности (рис.3).

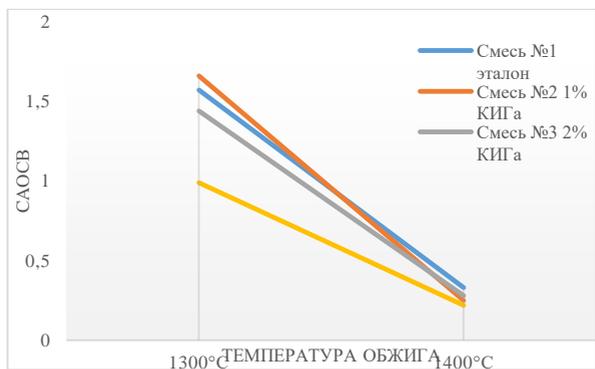


Рис. 3 содержание CaOсв в спеках при различных температурах.

Рекомендованный минералогический состав клинкера со средними предельными значениями:

$$\begin{aligned}
 C_3S + C_2S &= 75 \pm 2 \% ; \\
 C_3S &= 55 \pm 3 \% ; \\
 C_3A &= 8 \pm 2 \% ; \\
 C_3A + C_4AF &= 22 \pm 2 \% . [3]
 \end{aligned}$$

Из полученных клинкеров после обжига, наилучший состав имеет клинкер с 3% минерализатора КИГ-а.

Процентное содержание клинкера №4 соответствует рекомендациям, полученный состав представлен ниже:

$$\begin{aligned}
 C_3S &= 67\% ; \\
 C_2S &= 11 \% ; \\
 C_3A &= 8\% ; \\
 C_4AF &= 12\% ;
 \end{aligned}$$

Выводы:

1. В данной работе рассмотрена тема использования побочного продукта производства пентоксида ванадия в производстве вяжущих материалов. Проведен ряд лабораторных исследований, из которых можно сделать следующий вывод:

2. КИГ (Композиция известково – гипсовая) может ограниченно использоваться как минерализатор при добавлении ее в сырьевую смесь от 1 до 3 % сверх 100%. Оптимальная дозировка в сырьевую смесь составляет 3 %.

3. Выявлено увеличение количества C_3S что положительно скажется на качестве выпускаемого цемента из данного клинкера.

4. Доказано что на минералогический состав при соблюдении нормы отрицательного влияния не оказывает.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коледаева Т.А., Барбанягрэ В.Д. Взаимодействия в системе $CaCO_3LiF$ // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013 №1. С.110–113.

2. Будников П.П. Гипс. Его исследование и применение. М., 1950. 119-121 с.

3. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций: учеб. пособие / В.К. Классен. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 308 с.

УДК 666.171.3:666.119.3

Скворцов А.А., Суханосова И.Д.

Научный руководитель: Онищук В.И., канд. тех. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет

им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА УДАРОПРОЧНОСТЬ СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ

Ударопрочность – это один из важнейших показателей стеклянной тары, который показывает, насколько хорошо она сопротивляется механическому воздействию ударного типа. Соответствие этого параметра нормам необходимо для того, чтобы при транспортировке или при использовании тары на других предприятиях не возникало сколов, трещин и не происходило разрушение. Испытание стеклянной тары на ударную стойкость производят в соответствии с ГОСТ 34381-2017 [1].

Все факторы, определяющие прочность стенок корпуса на удар, взаимозависимы, и каждый фактор вносит свой определенный вклад в формирование этого очень важного свойства стеклянной тары, поэтому подразделить их на четко фиксированные группы не представляется возможным.

Самым важным среди прочих фактором является химический состав стекла, из которого изготавливаются изделия. Именно

химический состав [2] определяет температурный интервал формования, позволяющий получать изделия с равной толщиной стенок по горловине, плечикам, корпусу и дну стеклоизделий, что в последующем определяет выполнение качественного отжига для достижения минимальных значений остаточных напряжений в стенках перечисленных геометрических элементов стеклянной тары.

Вторым, не менее важным фактором, является полное отсутствие или незначительное количество в навариваемой стекломассе дефектов различной природы – твердых включений, непровара, свилей и пузырей различной природы [3,4], которые затем локализируются в различных элементах стенок стеклянной тары и являются источниками формирования, оставшиеся после отжига напряжения различной величины.

Третьим фактором, который обеспечивает высокое качество стекломассы, характеризуемое содержанием в ней различных пороков, является качественное ведение процесса стекловарения – оптимальный температурно-временной режим работы стекловаренной печи и удельный съем стекломассы. Оптимальные параметры процесса стекловарения в свою очередь обеспечиваются конструкцией стекловаренной печи [5,6], обладающей высоким потенциалом стекловарения, дегазации и гомогенизации стекломассы, а также ее охлаждения и кондиционирования в каналах питателей стеклоформирующих машин (СФМ). Оптимальное кондиционирование обеспечивает капле стекломассы, подаваемой на формование высокую химическую однородность и заданный температурный профиль, исключая температурный градиент по ее объему.

Четвертым фактором, определяющим предел сопротивления стеклянной тары удару, является температурный режим формования в черновой и чистовой формах СФМ. Вместе с этим, не следует забывать и о вкладе в ударопрочность и температурно-временные параметры нахождения стеклоизделия на охлаждающей плите СФМ, перемещения его от разгрузочного транспортера до реечного переставителя в лер отжига, где по ходу перемещения изделие подвергается нанесению упрочняющего оксидно-металлического покрытия. На этапе формования в наибольшей степени образуются напряжения в стенках стеклоизделия в результате быстрого охлаждения в чистовой форме и на охлаждающей плите СФМ.

Пятым фактором, определяющим ударопрочность, является процесс отжига стеклоизделий – термообработка, позволяющая охладить стеклянную тару с такой скоростью, которая обеспечивает релаксацию напряжений, образовавшихся при формовании, а также

предотвращает образование тех, которые могли бы образоваться при неуправляемой скорости охлаждения. Именно на этапе отжига сводится к минимуму возможность «проявления» всех ранее перечисленные факторов. Для качественного отжига стеклянной тары, как и для других стеклоизделий, важно исполнять требуемые температурно-временные параметры отжига и исключать температурный градиент по ширине тоннеля печей отжига.

Шестым фактором является форма и дизайн стеклянной тары. Например, стеклянные банки с усиленным дном или утолщенными стенками будут более прочными, чем тонкостенные. Также важно учитывать условия использования и хранения стеклянной тары, такие как температурные изменения и вибрации, которые могут повлиять на снижение ее ударопрочности.

Экспериментальное выявление долевого участия перечисленных факторов проводились на одном и том же виде изделий при изменении вышеперечисленных параметров отдельно друг от друга.

При вариации химического состава путем увеличения содержания в стекле Al_2O_3 , видно, что такое изменение его содержания сказывается на значении показателя ударопрочности. Также при рассмотрении химического состава необходимо учитывать содержание CaO , так как его содержание в большей мере оказывало влияние на ударопрочность.

Сущность влияние процесса стекловарения на ударопрочность заключается в наличии в стекломассе непровара, свиля, увеличение мошки, ухудшающих однородность стекла как по химическому составу, так и наличию газовых включений. При проведении испытания кинетическая энергия удара распределяется по изделию и поглощается им, но при наличии в изделии дефектов (тонкой стенки, различных включений, неоднородности стекломассы механических повреждений, микротрещин, внутренних напряжений), энергия удара при распределении сталкивается с ними, что приводит к разрушению изделия. Во избежание проблем с неоднородностью стекла, также необходимо подбирать правильные режимы работы бушинга, обеспечивающего усреднение стекломассы перед механизмом формирования капли.

При проведении анализа влияния качества отжига было установлено, что разница температур между конвейером леера отжига и изделиями не должна быть более $150\text{ }^{\circ}C$. В случае если температурная разница больше, рекомендуется подогревать конвейеры горелками.

Еще одним производственным фактором, влияющим на ударопрочность, является правильный подбор скоростей транспортировочных конвейеров на участке упаковки, они должны

быть подобранны таким образом, чтобы изделия при транспортировке не ударялись друг о друга слишком сильно и на поверхности не развивались микропосечки, которые даже при отжиге изделия не могут быть «залечены».

При анализе доли участия факторов на прочность стеклянной тары важно отметить, что испытания необходимо проводить в соответствии с требованиями, регламентированными ГОСТ 34381-2017 [1]. Рассмотрим эти регламентируемые условия по проведению испытаний прочности стенок корпуса стеклотары.

Для испытания на прочность ударным импульсом отбирают образцы стеклянной упаковки, прошедшие отжиг и не подвергавшиеся дополнительным тепловым и другим механическим воздействиям. Это необходимо для того, чтобы в изделии не было дополнительных дефектов, которые могут сказаться на результатах измерений, так же необходимо отметить, что изделие нельзя подвергать принудительному охлаждению, так как это приведет к образованию микротрещин.

Перед проведением испытаний на каждом образце специальным карандашом или маркером отмечают условно принятые наиболее слабые места по высоте корпуса изделий, к которым можно отнести:

- наибольший диаметр корпуса образца, контактирующий с другими образцами при перемещении изделий,
- места с наименьшей толщиной стенки, особенно у швов, и другие места на образце, вызывающие опасения Заказчика стеклянной тары.

При проведении испытаний по методу А после нанесения заданного первого импульсного удара образец поворачивают на 90° три раза, нанося последующие удары, при этом два удара должны приходиться на область шва корпуса образца. Для образцов некруглых форм условия нанесения импульсного удара согласовывают с Заказчиком. После проведения испытаний образцы стеклянных изделий вынимают из опорного устройства маятникового копра и осматривают, причем для образцов не круглых форм зачастую с Заказчиком согласуются места нанесения ударов в контактные зоны изделия.

При анализе точек нанесения ударов бойком копра, рекомендуем при проведении испытаний по методу А, достаточно достоверным считать нанесение по одному изделию не более 2-х ударов, причем местами нанесения их считать точки, расположенные на корпусе изделия, находящихся с противоположных сторон образца, т.е. после первого удара корпус изделия необходимо повернуть на 180°, после чего нанести второй удар. При испытаниях ударом поверхности корпуса изделия, поворачивая его на 90°, можно получить

недостовверный результат из-за образования бóльшего количества микротрещин, нарушающих исходную целостность поверхности изделия, что будет способствовать снижению достоверности результатов определений.

При возникновении на производстве проблемы с низким значением ударпрочности для определения и решения причин ее возникновения следует обратить внимание на следующие вещи: форм-фактор и место в котором появляется трещина, наличие в образцах различных включений и других браков (посечка, кованность, складка, прилеп, скол и др.) Важно анализировать и номер формокомплектов секций СФМ, если недостаточная прочность наблюдается у изделия, формуемых одной и той же секцией, следовательно, причину нужно искать в формокомплекте или особенностях работы, настройке режимов охлаждения конкретной секции СФМ, выявлять температурную разницу между изделием и конвейерами. Не менее важно контролировать постоянство химического состава стекла, определяющего значение его теплового коэффициента расширения, и определяющего такое свойство стеклоизделия, как термостойкость, выявлять нарушение технологических режимов варки, наличие разнотолщинности или тонкой стенки по месту в котором происходит разрушение, правильность отбора проб и проведение испытаний согласно ГОСТ 34381-2017 [1].

При соблюдении необходимого технологического режима, учитывающего все вышеперечисленных факторы и при своевременном обнаружении и устранении проблем, можно в значительной мере сократить потери продукции по этому виду брака.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 34381-2017 Межгосударственный стандарт. Упаковка стеклянная. Прочность стенок корпуса на удар. Методы испытания. Glass package. Walls of a body impact strength. Test methods. Москва, Стандартиформ. 2018. 6 с.

2. Жерновая, Н.Ф. Эффективность выбора состава стекла для тары / Н.Ф. Жерновая, В.И. Онишук // Стекло и керамика. 2005. №10. С. 11-13.

3. Возможные виды брака в технологии стекла и способы их устранения: учебное пособие/О.В. Казьмина, Р.Г. Мелконян; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. -129 С.

4. Контроль производства и качества листового стекла и

стеклоизделий : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Химическая технология тугоплавких неметаллических и силикатных материалов"/В.И. Онищук, Н. Ф. Жерновая, Н. И. Минько/ Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2005. - 164 с.

5. Костенко, С. Е. Современные стекловаренные печи и пути повышения их технико-экономических показателей / С. Е. Костенко, В. И. Онищук, Н. Ф. Жерновая // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2010. – № 3. – С. 128-131.

6. Ковчур, С. Г. К вопросу о комплексном подходе к повышению эффективности работы стекловаренных печей и улучшению качества стекла / С. Г. Ковчур, А. П. Гайдук // Стекло, ситаллы и силикаты: республиканский межведомственный сборник. – Минск: Вышэйшая школа, 1977. – Вып. 6. – С.159-164.

7. Жерновая, Н.Ф. Физико-химические основы технологии стекла: учебное пособие для вузов /Н.Ф. Жерновая, В.И. Онищук, Н.И. Минько/Белгород: БелГТАСМ. 2001. 100 с.

УДК 666.3.015.4

Смагина А.Р., Колесова А.С., Дудина Е.И.
Научный руководитель: Перетоккина Н.А., канд. тех. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия

ПОЛУЧЕНИЕ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ РУСИНОВСКОЙ ГЛИНЫ

В настоящее время клинкерный кирпич на основе Русиновской глины отличается своими экологическими и энергетическими преимуществами. Глина является природным материалом, не вызывающим загрязнения окружающей среды. Кроме того, процесс обжига требует намного меньше энергии по сравнению с традиционным способом обжига кирпича. Это делает клинкерный кирпич на основе Русиновской глины более экономически эффективным и экологически безопасным вариантом для строительства [1].

В процессе приготовления массы и подготовке образцов к испытаниям за основу была взята глина Русиновского месторождения.

Клинкер обладает несколькими преимуществами, что делает его популярным отделочным материалом [2].

Среди основных характеристик:

1. Прочность. Клинкерный кирпич – прочный материал. Марка М500 способна выдержать давление вплоть до 500 кг на 1см², при этом существует и специализированный клинкер М1000.

2. Влагопоглощение менее 5%. Повышенная влажность внутри строительного материала способна разрушить его. Причина попадания влаги внутри блока – повышенная пористость, характерная для некоторых видов кирпича. У клинкера данный показатель не превышает 5%, соответственно, шансов, что вода кристаллизуется внутри кирпича, начнёт разрывать его – минимальна. Клинкерный кирпич практически не впитывает воду, у некоторых производителей показатель влагопоглощения не превышает 2%.

3. Морозостойкость. Низкая пористость придаёт материалу и повышенной морозоустойчивости. Целевой клинкер обладает индексом F300, цифровое значение говорит о количествах циклов заморозки/разморозки, при которых не будет оказываться негативного действия на структуру строительного материала.

4. Отсутствие высолов. Появление белого налёта – проблема некоторых видов строительного материала. Высолы появляются в результате выхода на поверхность хлоридов, карбонатов, сульфатов, которые выделились из раствора в результате длительной эксплуатации, нарушения технологического процесса.

Смеси из глины, из которых производится клинкер, проходят лабораторные исследования на предмет соответствия состава ГОСТу, внутренним стандартам компании-производителя. Усиленный контроль за сырьём исключает появление высолов, продлевает общий срок эксплуатации объекта капитального строительства.

5. Устойчивость к плесени, агрессивной среде. Из-за низкого водопоглощения в клинкере не создаётся патогенная атмосфера, пригодная для размножения грибка, плесени, вредителей.

Показатель кислотостойкости – от 95%, в результате контактная поверхность не подвержена воздействию масел, растворителей, другой химии. Такой кирпич пригоден для укладки на мостовые, парковки, где зимой для очистки применяется соль, разбавленная химическими реагентами.

Технические характеристики клинкерного кирпича

Клинкерный кирпич, в зависимости от модификации обладает следующими техническими характеристиками:

- Водопоглощение – от 3 до 6%;
- Прочность – М200-М1000;
- Морозостойкость – F100-F300;

- Плотность – 1500-2000кг/м³;
- Коэффициент теплопроводности – 0,4-0,9;
- Допустимая пустотность – не более 48%.

Приготовление массы и образцов для испытаний

Приготовление массы. Навеску сухой просеянной через сито № 1 глины массой около 1100 г. смешивают с водой до образования густой пластичной массы. Массу перемешивают до полной однородности и проминают для удаления воздуха из нее.

Массу выдерживают в течение 24 ч, накрыв увлажненной тканью, затем массу отбивают, раскатывают в пласт и формуют образцы размером 30x30x30 мм. Края формы предварительно смазывают маслом. Образцы помещают на ровную поверхность и по диагонали острыми краями штангенциркуля наносят метки для определения усадки. Расстояние между метками 50 мм [3].

Сушка образцов на воздухе в течение суток, затем досушка в сушильном шкафу при 105...110 °С в течение 1ч до W = 3-5%. На сухих образцах замеряют расстояние между метками для определения усадки после сушки.

Обжиг образцов производят в лабораторной электрической печи. Под печи и ряды образцов пересыпаются глиноземом и образцы обжигаются при следующих температурах: 1000, 1100, 1200 °С. Подъем температуры производится со скоростью 3 °С/мин, вынимают образцы, переносят в муфельную печь, нагретую до 600 °С, охлаждают до комнатной температуры, определяют усадку общую и огневую, водопоглощение и кажущуюся плотность (ГОСТ 2409-2014) [4].

Готовые образцы, после сушки и обжига, подвергли испытаниям на определение основных физико-механических характеристик.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний обожжённых образцов

№	Температура, °С	Водопоглощение, %	Пористость, %	Плотность каж., г/см ³	Прочность на сжатие, МПа
1	1000	15,50	28,85	1,86	337,3
2	1100	8,58	17,37	2,03	513,9
3	1200	0,82	1,81	2,21	1082,6

Используя результаты испытаний, построили график зависимости прочности на сжатие от температуры обжига образцов (рис. 1).

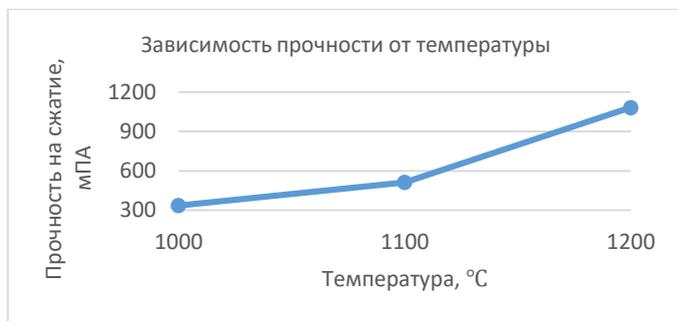


Рис. 1. График зависимости прочности на сжатие от температуры обжига

Таким образом, исходя из проведенных испытаний, можно сделать вывод, что Русиновская глина подходит для изготовления клинкерного кирпича при температуре обжига 1100-1200 °C и отвечает требованиям ГОСТ 32311-2012 [5]. На основе данной глины возможно получение клинкерного кирпича песочного цвета, соответствующего маркам по прочности - М500, М600, М800, М1000 и удовлетворяющего ГОСТ 530 – 2012 [6].

Получение клинкерного кирпича на основе Русиновской глины представляет собой перспективное направление в строительной индустрии. Уникальные характеристики Русиновской глины позволяют получить высококачественный кирпич с прочностью, долговечностью и эстетическими преимуществами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баранов Е.В., Шелковникова Т.И., Хорина А.В. Особенности получения керамического кирпича светлых тонов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 7. - С. 105-163.
2. Салахов А.М. Керамика для технологов / А.М. Салахов, Р.А. Салахова. - Казань: Изд-во гос. технол. ун-та, 2010. - 232 с.
3. Попов О. Ф. Технология керамических материалов. - М.: Стройиздат, 2010. – 769 с.
4. Череватова А.В., Перетокина Н.А., Ермак Ю.Н. Совершенствование технологии получения жаростойких легковесов с применением модифицированной ВКВС // Промышленное и гражданское строительство, 2007. № 8. – С. 24-25.

5. ГОСТ 323111 – 2012. Кирпич керамический клинкерный для мощения. Межгосударственный стандарт; введ. 2014 – 01 – 07. – Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, 2012.

6. ГОСТ 530 – 2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. Межгосударственный стандарт. – Взамен ГОСТ 530 -2007; введ. 2013 – 01 – 07. – Москва: СТАНДАРТИНФОРМ, 2013.

УДК 666.792.2

Смагина А.Р., Трепалин Д.В.

*Научный руководитель: Трепалин Ю.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА ЛЕГКОПЛАВКОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКИ ДЛЯ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Абразивные материалы играют важную роль в различных отраслях, включая металлургию, строительство, автомобильную промышленность и многое другое. Они используются для обработки поверхностей, удаления излишков и получения требуемой отделки. Одним из ключевых компонентов абразивных материалов является керамическая связка, которая обеспечивает прочность и стабильность абразивного инструмента [1].

Разработка составов керамической связки требует тщательного исследования и оптимизации различных физико-химических и технологических параметров. Главной целью является достижение оптимального сочетания прочности, твердости, стабильности и износостойкости связки, чтобы обеспечить эффективную работу абразивного материала.

Связующие материалы играют роль "клея", обеспечивающего связку между абразивными частицами и основой. Они должны иметь высокую пластичность и прочность, чтобы обеспечить хорошую адгезию и устойчивость к механическим нагрузкам. Добавки могут использоваться для улучшения определенных свойств керамической связки, таких как ее термическая стабильность или сопротивление крошению [2-3].

После выбора компонентов проводятся опыты по смешиванию и формованию связки. Это может включать прессование, экструзию или другие методы, зависящие от требований процесса производства. Затем выполняется термическая обработка для получения желаемых свойств связки, таких как ее прочность и твердость.

Исследование составов керамической связки включает также оценку их производственной эффективности и экономической целесообразности. Важно принимать во внимание стоимость компонентов, сложность процесса производства и возможность масштабирования производства.

Разработка связки с применением легкоплавкой фритты основана на получении легкоплавких стекол. Для получения такого рода стекол были разработаны составы с использованием кварцевого песка, кальцинированной соды (Na_2CO_3), буры, углекислого кальция (CaCO_3). Помол компонентов проводили в шаровой мельнице до остатка на сите 0063 в количестве 1 - 1,5 %. Далее компоненты смешивали и помещали в тигель. Варка стекла проходила в муфельной печи при температурах 900, 1000, 1200 °C

В связи с тем, что эндотермический эффект при реакции $\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3$ отмечается при температуре 910 - 920 °C, а в смеси $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3$ при 720 °C, было предложено введение некоторого количества буры для интенсификации процесса силикатообразования [4].

Из компонентов были составлены несколько масс, составы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Температуры начала силикатообразования связок

№	Компоненты, %								Температура, °С
	SiO ₂	Na ₂ CO ₃	NaNO ₃	KNO ₃	K ₂ CO ₃	CaCO ₃	Ca(NO ₃) ₂	N ₂ B ₄ O ₇ * 10H ₂ O	
1	60,6	24,3	-	-	-	15,1	-	0	1010-1200
2	60	24	-	-	-	15	-	1	1000-1180
3	60	24	-	-	-	14	-	2	990-1160
4	60	24	-	-	-	13	-	3	980-1160
5	60	24	-	-	-	11	-	5	950-1130
6	50	20	-	-	10	15	-	5	900-1000
7	60	-	20	10	-	-	-	10	950-1050
8	50	15	-	-	10	15	-	10	850-950
9	50	10	-	-	15	20	-	5	950-1000
10	50	15	-	-	20	10	-	5	800-900
11	50	20	-	-	20	5	-	5	750-800
12	50	15	-	-	20	5	-	10	750-800
13	50	-	20	20	-	-	-	10	850-900
14	50	-	15	10	-	-	15	10	850-900
15	50	-	10	20	-	-	5	10	800-850
16	60	10	-	-	15	5	-	10	850-900
17	50	15	-	-	20	-	-	15	700-750
18	50	20	-	-	20	-	-	10	800-850
19	50	15	-	-	25	-	-	10	700-750

Экспериментально была установлена температура начала силикатообразования и получения расплава разрабатываемых масс.

Далее из приведенных масс были получены порошки (стекло было измельчено до размера частиц 0,25 - 0,1 мм), нанесено на поверхность плитки и повторно обожжено при температуре 600°С. Результатом проведенного эксперимента выявлено, что к поверхности плитки пороки из разрабатываемых масс не преплавились. Частицы порошка повторно при такой температуре не расплавляются.

Были проведены так же предварительные теоретические расчеты масс, с применением в качестве компонентов селитры натриевой и калиевой.

Исходя из таблицы стало известно, что увеличение содержания поташа в массе положительно сказывается на снижении температуры силикатообразования.

Также можно сделать вывод, что керамическую связку необходимо добавлять легкоплавкие компоненты и стекла (фритты), которые снижают температуру образования жидкой фазы и обеспечивают реакционную активность связки [5-6].

При этом стекла (фритты) должны быть механически прочными, а вводимые в связку компоненты должны увеличивать механическую прочность абразивного черепка за счет их приконтактной кристаллизации с SiC без его разложения (отсутствие "зачернения").

Легкоплавкие связки (стекла) имеют "узкий" интервал спекания, в связи с чем сложно на одной связке получить все степени твердости абразивного инструмента из всех видов абразивных материалов и зернистостей. Из-за этого количество марок связок должно увеличиваться, что усложняет технологический процесс производства абразивного инструмента.

Абразивные смеси на легкоплавких связках имеют низкую пластичность, поэтому для ее увеличения вводится пластическая огнеупорная глина в объеме до 20%, что значительно ухудшает микроструктуру абразивного черепка из-за недостаточной температуры 1000 °С для процесса взаимодействия огнеупорных глин со стеклом и гомогенизации смеси.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоусов В.М., Кузнецов В.В., Лебедев В.А. Технология и оборудование производства абразивных материалов. Москва: Машиностроение, 2005. - 215 с.

2. Производство абразивных материалов / А. С. Полубелова, В. Н. Крылов, В. В. Карлин и др., Под ред. В. Н. Крылова. Л.: Машиностроение, 1968. - 296 с.

3. Горбунов А.В., Лебедев В.А., Лебедева Е.В. Абразивные материалы и технологии. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 87 с.

4. Глаговский Б. А., Роиштейн Г. М., Яшин В. А. Контрольно-измерительные приборы и основы автоматизации производства абразивных инструментов. Л.: Машиностроение, 1980. – 72 с.

5. Кузнецов В.В., Лебедев В.А., Лебедева Е.В. Технология и оборудование производства абразивных материалов. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 163 с.

б. Бондаренко Д.О., Бондаренко Н.И., Бессмертный В.С., Исофатова Д.И., Дюмина П.С., Волошко Н.И. Энергосберегающая технология получения силикат-глыбы для производства жидкого стекла // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. - С. 111–115.

УДК 666.9.015.64

Субботин В.Д.

*Научный руководитель: Черкасов А.В., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТА

В технологии производства цемента отводят пристальное внимание расходным статьям энергетического баланса завода. В свою очередь большую долю расхода составляют энергозатраты на производство клинкера, как полуфабриката цементной промышленности. При сухом способе производства цемента расход тепла на обжиг составляет до 4000 кДж/кг клинкера, при мокром до 7500 кДж/кг. В связи с этим предпринимаются различные меры по снижению энергетических затрат путем ввода минерализаторов обжига.

Минерализирующие агенты [3] в технологии производства цемента - это вещества, которые при вводе в малых количествах ускоряют фазовые реакции, происходящие при обжиге клинкера. Работа предусматривает изучение возможности использования фосфогипса в качестве минерализатора обжига. Для проведения работы использованы материалы представленного в таблице 1 химического состава:

Таблица 1 - Химический состав использованных материалов, масс. %

Материал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅	SO ₃	R ₂ O	ПП П
Сырьевая смесь	13,3 9	3,83	3,09	43,9 7	0,00	0,29	1,1 4	33,4 3
Фосфогипс	0,21	0,09	0,59	38,7 4	0,62	40,1 9	0,1 3	16,5 6
Гипс БЦЗ	2,54	0,57	0,26	31,1 0	-	40,0 0	0,1 6	19,1 0

На первом этапе работы подобрали оптимальный состав сырья и произвели обжиг б/д сырьевой смеси и смеси с добавкой фосфогипса в интервале температур 950-1100⁰С с шагом 50⁰С и с изотермической выдержкой 30 минут при каждой контрольной температуре. Влияние фосфогипса на обжиг п/ц клинкера судили по данным РФА при температурах 950-1100⁰С.

На рисунке 1 представлено сравнение пиков β -SiO₂. Сравнивая спектры между собой, стоит отметить, что при обжиге смеси с фосфогипсом пик β -SiO₂ по интенсивности ниже, чем в б/д сырьевой смеси) при температуре 950⁰С на 60%.

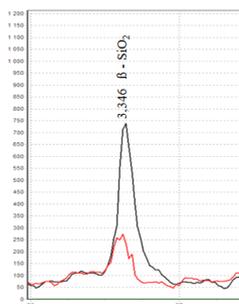


Рис. 1. Сравнение пиков β -SiO₂.

В свою очередь на рис. 2 наблюдаем сравнение характерных пиков, соответствующих отражениям β -C₂S.

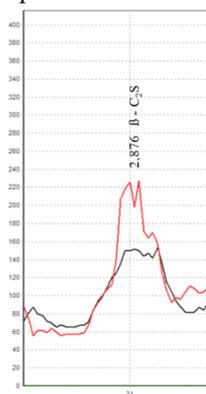


Рис. 2. Сравнение пиков β -C₂S

Результаты анализа обожженных образцов, при температуре 950⁰С указывают на увеличение интенсивности отражения β -C₂S на 40% в составах с добавкой фосфогипса.

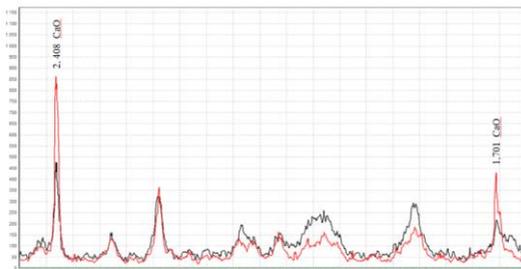


Рис. 3. Сравнение пиков $\text{CaO}_{\text{св}}$.

На рис.3 представлены результаты сравнения влияния добавки на динамику образования $\text{CaO}_{\text{св}}$, при разложении карбонатной составляющей в сырьевой смеси, что соответствует увеличению интенсивностей отражения на 56% состава с добавкой фосфогипса.

На втором этапе работы синтезировали клинкера заданных составов при температуре 1450°C с выдержкой в 60 минут:

- из промышленной сырьевой смеси, как эталон для сравнения;
- из сырьевой смеси с использованием 0,5%, 1,0%, 1,5% и 2% добавки фосфогипса;

Скорость клинкерообразования определяли по количеству свободного оксида кальция в спеках и по данным РФА.

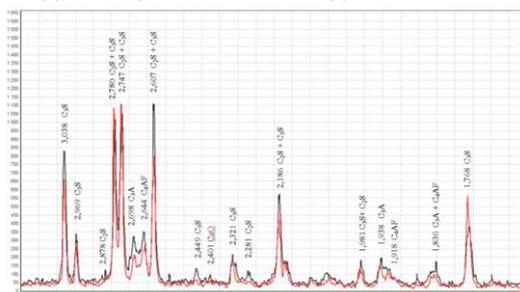


Рис. 4. Сравнение спектров 2-х смесей при температуре обжига 1450°C

По результатам РФА интенсивность C_3A и C_4AF незначительно ниже у образцов в присутствии фосфогипса [2], однако, необходимо отметить, что интенсивность C_3S на рентгенограмме образца, включающего 2 мас.% фосфогипса, выше, что указывает на действие оксида фосфора [4] в составе фосфогипса, что впоследствии может положительно повлиять на гидравлическую активность цемента.

С использованием этил-глицератного метода было определено содержание свободного оксида кальция при добавлении фосфогипса в

сырьевую смесь в количестве 0,5; 1,0; 1,5; 2,0% при температуре обжига 1450. Результаты содержания свободного оксида кальция приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Содержание $\text{CaO}_{\text{св}}$, % в клинкере

Температура, °С	Бездобавочный клинкер	С добавление фосфогипса			
		0,5%	1,0%	1,5%	2,0%
1450	0,65	0,61	0,50	0,38	0,22

Для приготовления цемента помололи 150 г клинкера, в лабораторной мельнице до $S_{\text{уд}} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$ с последующим добавлением 4,5% гипса в пересчете по SO_3 .

Время помола бездобавочного клинкера составило 50 минут. Время помола клинкера, содержащего фосфогипс, составило 36 минут.

Определили нормальную плотность и сроки схватывания, [1] согласно методике и ГОСТ 310.3–76, для малых образцов. Нормальная плотность (НГ) для экспериментальных образцов составляет 0,3. Конец схватывания для б/д цемента составил 64 минуты, а для цемента с 2% фосфогипса 84 минуты.

Из полученного цементного теста нормальной плотности изготовили малые образцы кубы с размером грани 1,41 см., которые после суток твердения в среде насыщенными водяными парами, помещались вводу. Через 3, 7, 14, 21 и 28 суток, после формования образцов, по 3 образца-куба испытывали на предел прочности при сжатии.

Результаты испытаний образцов и полученные прочностные характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Влияние добавки фосфогипса на прочность вяжущей композиции $S_{\text{уд}}=300 \text{ м}^2/\text{кг}$; $V/\Omega = 0,30$.

Клинкер	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сут				
	2	7	14	21	28
Без добавок	44,0	46,3	48,8	55,3	64,5
С фосфогипсом	47,2	48,4	51,4	58,5	67,9

Анализируя результаты исследований, установили, что добавка фосфогипса ускоряет процессы разложения карбонатной составляющей, приводит к увеличению доли алита, при этом наблюдается увеличение прочностных характеристик цемента с учетом вноса оксида фосфора в количестве до 0,5% в состав сырьевой смеси перед обжигом.

Таким образом:

1. Проведенные исследования показали возможность использования фосфогипса ПАО «ФосАгро» в качестве минерализатора обжига для сырьевой смеси АО «Себряковцемент».

2. Подобран оптимальный состав сырьевой смеси, обеспечивающей хорошую гидравлическую активность. Рекомендуется вводить в сырьевую смесь до 2% фосфогипса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК:

1. Бутт Ю.М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов / Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. - Москва ВШ. - 1973. – С. 504.

2. Горшков В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / Горшков В.С. - М. Высш. школа. - 1981. - С. 335.

3. Черкасов А. В. Эффективность использования плавикового шпата на цементных заводах / А. В. Черкасов, Д. А. Мишин, И. Г. Лугинина // Инновационные материалы и технологии (XX научные чтения): Материалы Международной научно-практической конференции, Белгород, 11-12 октября 2011 года. Том 3. - Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. - 2010. - С. 243-245. - EDN QUAZFX.

4. Черняев Д. В. Влияние отходов ЗАО "Балаковские минеральные удобрения" на процессы обжига и качество клинкера ОАО "холсимрус" / Д. В. Черняев // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01-30 мая 2015 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. - Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. - 2015. - С. 395-398. - EDN USOZTN.

Таралло З.В., Ерыгина А.О.

*Научный руководитель: Мишин Д.А., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛИЗАТОРА И ДИСПЕРСНОСТИ КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА НА СКОРОСТЬ УСВОЕНИЯ САО

Одним из ключевых направлений развития цементной промышленности является сокращение энергопотребления. Существенное увеличение стоимости природного топлива стало стимулом для возобновления исследований, направленных на сокращение расходов, связанных с обжигом цементного клинкера. Эта задача может быть решена путем улучшения конструкции обжигового оборудования, внедрения альтернативных методов производства цементного клинкера, замены части компонентов сырьевой смеси на техногенные продукты и других методов [1]. Перспективный путь экономии топливно-энергетических ресурсов состоит в интенсификации процессов минералообразования на этапе обжига исходной сырьевой смеси во вращающейся печи.

Также было установлено, что введение хлоридов, сульфатов, фосфатов, нитратов и других солей определенных металлов способствует снижению температуры образования клинкерного расплава, что приводит к повышенной реакционной активности многокомпонентной системы, переходящей из твердой фазы [2,3].

Исследование воздействия различных химических добавок на кинетику синтеза материалов в области строительных композитов привлекает все большее внимание научного сообщества. Одним из ключевых факторов, влияющих на формирование структуры и свойств таких композитов, является применение фторида кальция. Фторид кальция, как активная добавка, обладает потенциалом модифицировать кинетические процессы во время синтеза белита – одного из минералов портландцементного клинкера [4].

Дисперсность, то есть степень измельчения, оказывает существенное влияние на реакционную способность и конечные свойства материала.

При более высокой дисперсности кремнеземсодержащего компонента увеличивается реакционную способность, что способствует более интенсивному взаимодействию между компонентами смеси в

процессе обжига. Это приводит к ускорению химических реакций и снижению температуры, необходимой для синтеза целевого продукта.

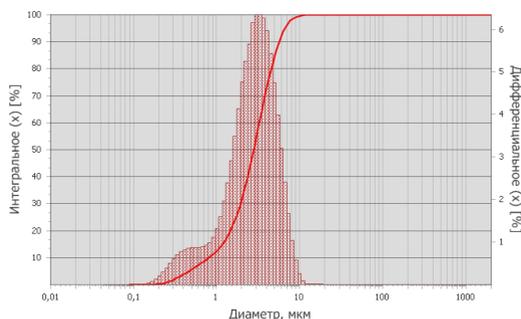
Цель данной работы - изучение влияния CaF_2 на синтез белита в смесях с разной дисперсностью кремнеземсодержащего компонента.

Для исследования были использованы диоксид кремния марки БС-100 (белая сажа) и химически осажденный CaCO_3 .

Таблица 1 - Химический состав сырьевых компонентов (по паспортам качества), %

Компонент	CaCO_3	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO
Химически осажденный CaCO_3	99,05	0,12	0,08	-	-
БС-100 (белая сажа)	-	98	0,03	0,01	0,1

Использование тонкодисперсной сырьевой смеси позволяет ускорить твердофазовый синтез [5]. Для подтверждения этого в одних смесях использовался немолотая белая сажа, в других домолотая, которую дополнительно измельчали в планетарной циркониевой мельнице в течение 20 минут.



а)

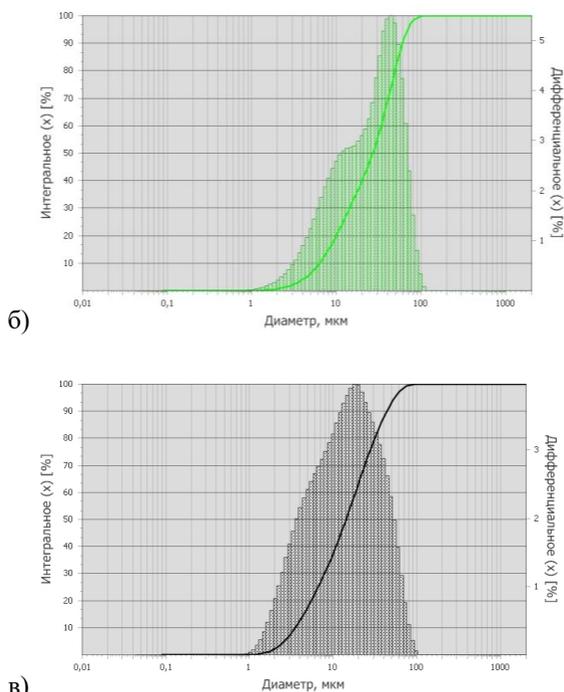


Рис. 1. Гранулометрическая характеристика материалов:
 а) химически осажденный CaCO_3 ; б) исходная БС-100
 измельченная БС-100; в) измельченная БС-100

Гранулометрические характеристики сырьевых компонентов определяли на лазерном гранулометре ANALYSETTE 22 NanoTec plus. Модальный диаметр химически осажденного CaCO_3 составляет 3,1 мкм, удельная поверхность $36069 \text{ см}^2/\text{см}^3$. У измельченной БС-100 модальный диаметр – 18,49 мкм и удельная поверхность $7123 \text{ см}^2/\text{см}^3$, а у исходной БС-100 модальный диаметр – 43,03 мкм и удельная поверхность $4282 \text{ см}^2/\text{см}^3$.

Исследования проводились на смесях, рассчитанных на получение двухкальциевого силиката. Чтобы получить 100% C_2S требовалось смешать 76,92% химически осажденного CaCO_3 и 23,08% диоксида кремния марки БС-100. Всего было приготовлено 4 смеси.

Таблица 2 – Состав сырьевых смесей

№ смеси	Компоненты сырьевой смеси			
	Химически осажденный CaCO ₃	Исходный диоксид кремния марки БС-100	Измельченный диоксид кремния марки БС-100	0,7% CaF ₂
1	+	+		
2	+		+	
3	+	+		+
4	+		+	+

Для исследования кинетики синтеза белита смеси обжигались при температурах 1000, 1100, 1200, 1250, 1300, 1350°C.

Этилглицератный метод определения CaO_{св} показал следующие результаты.

Таблица 3 – Влияние дисперсности кремнеземсодержащего компонента и минерализатора на содержание CaO_{св}, % при обжиге

Температура, °C	Смесь			
	1	2	3	4
1000	48,1	35,9	29,7	27,7
1100	43,4	30,6	29,5	24,8
1200	42,8	29,9	26,6	20,4
1250	40,9	25,5	24	14,9
1300	39,2	23,8	23,7	12,9
1350	35,2	20,9	20,4	13,3

Ранние исследования [5], в которых говорилось, что увеличение дисперсности кремнеземсодержащего компонента и введение минерализатора, приведут к более эффективному усвоению CaO_{св} – подтвердились в условиях эксперимента. Сравнение результатов между смесями (табл. 3) с исходным и измельченным диоксидом кремния марки БС-100 (смеси 1 и 2), а также смесей, в которые вводился минерализатор (смеси 3 и 4), показывает, что увеличение дисперсности (от 4282 до 7123 см²/см³) кремнеземсодержащего компонента действительно приводит к уменьшению содержания свободного оксида кальция. Это указывает на более интенсивное взаимодействие между частицами материала.

Исследования И.Г. Лугиной [6], в которых описывается влияние фторида кальция на твердофазный синтез клинкерных минералов в низкотемпературной области (от 1000 до 1200°C), также подтвердились при сравнении полученных результатов эксперимента.

На основе проведенного исследования можно сделать вывод, что использование минерализатора благоприятно влияет на усвоение свободного оксида кальция, особенно при температурах от 1000 до 1200°C, однако примечательно то, что в условиях эксперимента в высокотемпературной зоне (при температурах выше 1200°C) эффект влияния фторида кальция в смеси с исходным диоксидом кремния марки БС-100, оказывает сопоставимое влияние на содержание свободного оксида кальция в конечном продукте, как и использование измельченного кремнеземсодержащего компонента без добавления минерализатора. Следовательно, применение дополнительного измельчения кремнеземсодержащего компонента может служить эффективной альтернативой минерализатора. Наилучший результат скорости усвоения свободного оксида кальция достигается при совместном применении минерализатора и предварительно измельченного кремнеземсодержащего компонента, что показывает сравнение результатов обжига смесей 1 и 4 по достижению 1350. Сочетание ввода минерализатора и доизмельчение кремнеземсодержащего компонента обеспечивает наиболее полное протекание реакций синтеза белита, что способствует значительному снижению содержания $\text{CaO}_{\text{св}}$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен В. К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. – 308 с.
2. Волконский Б.В. Минерализаторы в цементной промышленности / Б.В. Волконский, П.Ф. Коновалов, С.Д. Макашев – Москва : Стройиздат, 1964.– 200 с.
3. Осокин, А.П. Модифицированный портландцемент / Осокин, А.П., Кривобородов Ю.Р., Потапова Е.Н. Московский хим.-технол. ин-т им. Д. И. Менделеева. - Москва : Стройиздат, 1993.С. – 321.
4. Ерыгина А.О. Влияние примесей щелочных металлов в сырье на качество цемента / А.О. Ерыгина, П.С. Голобоодкин // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. – С.2435-2439 – EDN IZGUGA.
5. Мишин Д. А., Дороганов В. А., Долгова Е. П., Таралло З. В., Евтушенко Е. И., Лукин Е. С. Способы синтеза силикатсодержащего клинкера стоматологического цемента // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.

2023. №. 12. С. 97-105. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2023-8-12-97-105>

6. Лугинина, И.Г. Избранные труды – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. – 302 с.

УДК 666.3.022

Трепалин Д.В., Смагина А.Р.

*Научный руководитель: Трепалина Ю.Н., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛКОФРАКЦИОННОГО КЕРАМЗИТА СУХИМ ПОРОШКОВЫМ СПОСОБОМ

Новая технология производства мелкофракционного керамзита нового поколения (нового керамзита) должна позволить производить легкий заполнитель фракций 0-2, 2-4, 4-8 мм (или 0-3, 3-8 мм) с насыпной плотностью от 300 до 800 кг/м³. Общий выход готового материала должен составлять не менее 90 % по фракции 0-8 мм без применения процесса дробления. Новая технология может гибко регулировать объемное соотношение мелких фракций производимого заполнителя в зависимости от изменения спроса. Новая технология подразумевает сухой порошокый способ подготовки сырьевой смеси. Главное конкурентное преимущество новой технологии – она позволяет выпускать большие объемы мелких фракций керамзита, не используя процесс дробления готового продукта. Это сохраняет у зерен заполнителя спеченную оболочку и внутреннюю пористую структуру нетронутыми, что позволяет получать мелкий заполнитель с низкой насыпной плотностью, высокой прочностью и низким водопоглощением [2]. Такие свойства заполнителя позволяют снизить расход цемента при производстве бетонных изделий и бетонов при сохранении или улучшении качественных параметров.

Разработка новой технологии производства керамзита позволит производить легкий заполнитель фракций 0-2, 2-4, 4-8, 4-10 мм (или 0-3, 3-8, 3-10 мм) с насыпной плотностью от 300 кг/м³ до 800 кг/м³. Общий выход готового материала должен составлять не менее 90 % по фракции 0-8 мм без применения процесса дробления. Новая технология должна позволить гибко регулировать объемное соотношение мелких фракций производимого заполнителя в зависимости от изменения требований

для проектирования конструкционных бетонов, ограждающих конструкций, стеновых материалов.

Основные технические параметры, определяющие количественные и качественные характеристики продукции

Выход готового заполнителя по фракциям должен иметь следующие показатели:

- фракция 0-2 мм - 10 – 15 %;
- фракция 2-4 мм - 40 – 45 %;
- фракция 4-8 мм - 40 – 45 %.

Марка по насыпной плотности:

- минимальная М300 – насыпная плотность, кг/м³ – 250 – 300;
- максимальная М800 - насыпная плотность, кг/м³ – 700 – 800.

Прочность, МПа:

- марка М300 - 1,0 – 1,5 (по ГОСТ 32496 - 0,7 – 1,0);
- марка М350 - 2,0 – 2,5 (по ГОСТ 32496 - 1,0 – 1,5);
- марка М600 - 4,5 – 5,5 (по ГОСТ 32496 - 2,5 – 3,3);
- марка М800 - 6,5 – 8,0 (по ГОСТ 32496 - 4,5 – 5,5).

Водопоглощение - не выше 8 %.

Конструктивные требования к опытной продукции

В результате проделанной работы получены следующие образцы опытной продукции:

- марка М300 (фр. 0-8 мм) - 0,10 – 0,15 м³;
- марка М350 (фр. 0-8 мм) - 0,10 – 0,15 м³;
- марка М600 (фр. 0-8 мм) - 0,10 – 0,15 м³;
- марка М800 (фр. 0-8 мм) - 0,10 – 0,15 м³.

Используемое сырье и материалы, входящие в состав разрабатываемого продукта:

- легкоплавкие глины Ястребовского (Харлановского) месторождения;

- легкоплавкие глины Пореченского месторождения;
- огнеупорные глины Латненского месторождения;
- железная руда Яковлевского месторождения КМА;
- пиритные огарки АО «Аммофос»;
- зола-унос Черепетской ГРЭС;

- пылеунос из электрофильтра керамзитового производства АО «ЗЖБК-1»;

- катализаторы кристаллизации.

Введение минеральных кристаллизаторов позволяет создать пористую структуру керамзитового гравия в минимальных объемах гранул [3].

Проведенные исследования позволяют создать отечественную доступную технологию для получения мелкофракционного легкого пористого заполнителя нового поколения с прочностными характеристиками, превышающими более чем в два раза требования отечественного стандарта ГОСТ 32496-2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия» [1], предназначенные для изготовления современных конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных бетонов. Новый продукт (новый керамзит) будет являться доступным аналогом для отечественного рынка таких материалов, как импортные пористые заполнители для производства конструкционных высокопрочных легких бетонов, например, Stalite (США), Leca/Laterlite (Италия), Liapor (Германия).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 32496-2013 «Заполнители пористые для легких бетонов. Технические условия». Межгосударственный стандарт; введ.2015-01-01. – Москва: Стандартинформ, 2014
2. Каленов Е.М. Повышение качества керамзита/ Е.М. Каленов// -К.: Будівельник. 1984. - 61 с.
3. Василенко Т.А. Физико-механические свойства керамзитового гравия, полученного с использованием электросталеплавильного шлака / Т.А. Василенко, М.П. Ламакина// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2016. - №6. - С.187 - 196.

УДК 666.942

Фролова А.Ю., Дреер Ю.И., Аксяева А.С.

***Научный руководитель: Новоселов А.Г., канд. техн. наук, доц.
Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия***

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ИЗВЕСТНЯКА НА ГИДРАТАЦИЮ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ С₃А

В условиях современного мира, где проблемы экологии и энергосбережения становятся все более актуальными, строительная отрасль не может оставаться в стороне. Одной из основных проблем, с которой сталкиваются предприятия цементной промышленности, является повышенное потребление энергетических ресурсов и связанное с этим большое количество выбросов парниковых газов в атмосферу [1].

Решением данных проблем может выступать производство цементов с минеральными добавками, что будет способствовать снижению потребления клинкера. Портландцемент с добавлением известняка является одним из наиболее распространенных видов цемента с добавками. Минеральные добавки взаимодействуют с основными фазами клинкера при гидратации, частично заменяя клинкер и влияя на свойства цементного камня [2,3].

Известняк в качестве дополнительного компонента обычно размалывается вместе с клинкером и обладает меньшей твердостью, чем портландцементный клинкер, что приводит к его накоплению в виде мелкой фракции. В определенных пределах эти тонкие частицы известняка могут увеличивать плотность структуры и, следовательно, повысить удобоукладываемость и прочность бетона [4,5].

Известно, что основная составляющая известняка – карбонат кальция CaCO_3 – может в процессе гидратации цемента вступать в реакцию с основными клинкерными минералами и образовывать устойчивые соединения [6,7].

В связи с этим особую актуальность приобретает изучение цементных композитов, полученных с использованием известняка, и его влияние на состав продуктов гидратации в зависимости от минералогического состава портландцементного клинкера.

Для приготовления цементных композиций использовались следующие сырьевые компоненты: портландцементный клинкер с содержанием C_3A ~7%, портландцементный клинкер с содержанием C_3A ~10% и известняк Серебрянского цементного завода, отличающийся высоким содержанием карбоната кальция и незначительным количеством примесей, в основном, оксида кремния IV (табл. 1-2).

Таблица 1 - Химический состав клинкеров, %

Компоненты	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	SO_3	MgO	TiO_2	R_2O
ПЦ клинкер (~ C_3A 7%)	21,6 6	5,30	4,19	66,6 1	0,12	0,60	0,41	0,5 6
ПЦ клинкер (~ C_3A 10%)	21,1 8	6,37	3,74	66,3 0	0,11	0,66	0,58	1,0 9

Таблица 2 - Химический состав известняка, %

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	ППП	Σ
2,88	0,82	0,44	52,40	41,81	98,35

Используемые в работе клинкеры характеризуются некоторыми отличиями в минералогическом составе и модульных характеристиках (табл. 3).

Таблица 3 - Минералогический состав (%) и модульные характеристики клинкеров

Материал	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	КН	n	p
ПЦ клинкер (~C ₃ A 7%)	64,55	13,05	6,94	12,74	0,93	2,27	1,26
ПЦ клинкер (~C ₃ A 10%)	61,17	14,59	10,54	11,37	0,92	2,09	1,70

Клинкер №1 характеризуется более высоким содержанием алита в составе и меньшим количеством трехкальциевого алюмината по сравнению с составом клинкера №2, что влечет за собой увеличение коэффициента насыщения и силикатного модуля при уменьшении алюминатного модуля для клинкера №1.

Для рассмотрения влияния известняка на состав продуктов гидратации при различном минералогическом составе клинкеров был осуществлен раздельный помол известняка и клинкера с их дальнейшим усреднением совместно с добавкой двуводного сульфата кальция. Удельная поверхность известняка, вводимого в цемент в количестве 20 и 35%, оставалась неизменной и составляла около 600 м²/кг. Помол клинкера осуществлялся до удельной поверхности 400 м²/кг. Высокая удельная поверхность известняка обусловлена возможным повышением его реакционной способности. В качестве контрольного образца использовался бездобавочный цемент.

На рисунке 1 представлены рентгенограммы образцов цемента, полученного в результате раздельного помола клинкера и известняка, в возрасте 28 суток твердения.

Гидратированные образцы состоят из следующих минералов: этtringит, портландит, гидросиликаты кальция, которые придают прочность цементному камню. В составе цемента с добавлением известняка идентифицируются, помимо основных минералов, еще и гидрокарбоалюминат кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 32H_2O$ и $CaCO_3$.

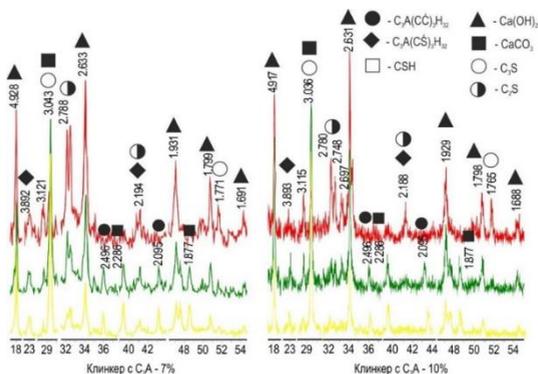


Рис.1 Продукты гидратации цемента в возрасте 28 суток

Характерные отражения карбоната кальция на рентгенограммах позволяют судить о том, что вводимый в цемент известняк, в основном, присутствует в гидратированном цементе в исходном виде. Однако некоторая его часть в процессе гидратации вступает в реакцию с трехкальциевым алюминатом в составе клинкера и образует соединение $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ - гидрокарбоалюминат кальция. Анализ основных дифракционных отражений данного продукта гидратации (d , Å = 2,49; 2,09) на всем протяжении срока твердения показывает постепенный рост интенсивности, что может говорить об увеличении его содержания в цементном камне с течением времени. Также стоит отметить, что при увеличении содержания трехкальциевого алюмината в клинкере с 7% до 10% в процессе гидратации цемента с добавлением известняка как в количестве 20%, так и 35%, происходит увеличение интенсивности дифракционных отражений гидрокарбоалюмината кальция. Формирование данной фазы возможно будет способствовать уплотнению и изменению структуры цементного камня, что положительно скажется на прочностных характеристиках цементного камня.

Выводы:

1. Известняк, использованный в качестве добавки к цементу, как клинкерозамещающий компонент, частично вступает в реакцию только с трехкальциевым алюминатом, входящим в состав клинкера, с образованием гидрокарбоалюмината кальция.

2. При увеличении доли трехкальциевого алюмината в клинкере в продуктах гидратации цемента происходит увеличение количества образующегося гидрокарбоалюмината кальция, что может оказать положительное влияние на физико-механические свойства цементного камня.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Суханова Е. В. Снижение выбросов CO₂ при производстве цемента / Суханова Е. В., Герасимова Е. С. – Текст: электронный // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием (Екатеринбург, 15–18 декабря 2015 г.). — Екатеринбург: УрФУ, 2015. — С. 335-336. – URL: <https://elar.urfu.ru> (дата обращения: 28.04.2024).
2. Тимашев, В. В. Свойства цементов с карбонатными добавками / Тимашев В. В., Колбасов В. М. // Цемент. - 1981. - № 10. - С.10–12.
3. Штарк, Й. Цемент и известь / Й. Штарк, Б. Вихт; пер. с нем. А. Тулаганова, Под ред. П. Кривенко. - Киев: [б. и.]. - 2008. - 469 с.: ил.
4. Козлова, В. К. Влияние карбонатсодержащих добавок на свойства композиционных цементов / Козлова В. К., Маноха А.М., Лихошерстов А.А., Мануйлов Е.В., Малова Е.Ю. // Цемент и его применение. - 2012. - № 3. - С. 125–129.
5. Козлова, В. К. Особенности состава продуктов гидратации композиционных портландцементов с карбонат-содержащими добавками / Козлова В. К., Маноха А.М., Скакун В.П., Малова Е.Ю., Божок Е.В. // Цемент и его применение. - 2014. - № 4. - С. 103–105.
6. Мечай, А. Композиционный портландцемент с использованием минеральных добавок на основе природного сырья / Мечай А., Барановская Е., Попова М. // ТРУДЫ БГТУ. – 2022. - Серия 2. - №2. - С 100-106. DOI: 10.52065/2520-2669-2022-259-2-100-106.
7. Фролова, А. Ю. Влияние добавки известняка на гидратацию портландцемента / Фролова А. Ю., Дреер Ю. И., Бахмутова Е. В. – Текст: электронный // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 300-летию Российской академии наук: Сборник докладов Национальной конференции с международным участием (Белгород, 18–20 мая 2022 г.). – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – Часть 11. – С. 168-173. – URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 16.05.2024).

Оглавление

Аксеева А.С., Дреер Ю.И., Фролова А.Ю.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ ОХЛАЖДЕНИЯ НА
КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ БЕЛОГО КЛИНКЕРА..... 3

Вакуленко Д.А., Исаева А.С.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА В
ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА 7

¹Варфоломеева С.В., ¹Бондаренко М.А., ²Платова Р.А.

СТЕНОВАЯ КЕРАМИКА, МОДИФИЦИРОВАННАЯ
ТЕТРАОКСИДОМ МАРГАНЦА 10

Гхебремедхин К.В., Гродников И.Р.

СВИНЦОВОСОДЕРЖАЩЕЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ
РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ 18

Давидюк А.С., Вагина Я.С.

ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИ
ОБРАБОТАННЫХ ШЛАКОВ В СОСТАВЕ ВЯЖУЩИХ
КОМПОЗИЦИЙ 23

Долгова А.В.

COMPOSITE MATERIALS ARE THE FUTURE OF AVIATION 28

Дудина Е.И., Смагина А.Р., Колесова А.С.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ШЛАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА 31

Дудина Е.И.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ ДЛЯ ВНУТРЕННЕЙ ОБЛИЦОВКИ
СТЕН 36

Золотков М.М., Таралло З.В., Крапивин С.Н.

ВЛИЯНИЕ ЦИРКУЛИРУЮЩИХ ЩЕЛОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА
ПРОЦЕССЫ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ ЦЕМЕНТНОЙ
СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ 41

Ильиных А.И.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЛАКОВ НА СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЕВОГО КОМПОНЕНТА	45
Исаева А.С., Вакуленко Д.А.	
ВЛИЯНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО КЛИНКЕРА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАСТИКОВОГО ОТХОДА ДЛЯ ЧАСТИЧНОГО ТОПЛИВОЗАМЕЩЕНИЯ ПОДАЧЕЙ В ЗОНУ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ	49
Калинина К.М.	
ТЕРМОАКТИВАЦИЯ СЫРЬЯ В ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТА	53
Кацко А.В.	
АКТИВАЦИЯ ДОМЕННЫХ ШЛАКОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕМЕНТОВ.....	58
Кнященко В.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ДЕФЕКТОВ В КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЯХ.....	62
Колесова А.С., Дудина Е.И., Смагина А.Р.	
ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ШЛАКА	66
Колесова А.С., Омарова Л.А.	
ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ TiO_2 НА СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ НА ОСНОВЕ КОРУНДОВОЙ СУСПЕНЗИИ	71
Колесова А.С., Омарова Л.А.	
КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ КОРУНДОВОЙ СУСПЕНЗИИ	76
Кривошеин Д.В., Арепьева С.Д., Ершова А.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАМЕНЫ ГЛИНИСТОГО КОМПОНЕНТА ДОМЕННЫМ ШЛАКОМ В ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОЙ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ.....	80
Кужелева А.А.	

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА	84
Лазарова Ю.С.	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗОЛ ТЭС В ПРОИЗВОДСТВЕ НЕПРЕРЫВНЫХ СТЕКЛОВОЛОКОН	88
Линец В.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КВАРЦИТОПЕСЧАНИКОВ МЕЖДУРЕЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ	93
Литвинова Ю. И., Дреер Ю.И., Фролова А.Ю.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛИЗУЮЩИХ ДОБАВОК НА ПРОЦЕСС ОБЖИГА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА.....	98
Логинов А.А.	
ВЛИЯНИЕ НЕКАЛЬЦИЕВЫХ СУЛЬФАТСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА	103
Малютин Б.А.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОЖЖЕННОЙ ГЛИНЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ.....	107
Манаа И., Морозова И.А.	
ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO ₂ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА	113
Миронов В.А.	
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПОМОЛА КЛИНКЕРА.....	117
Михайличенко И.К.	
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ	120
Недждад Асаад Мохаммед Али	

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДОБАВОК ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦЕМЕНТА	123
Писанная В.В.	
АНТИСЕПТИРОВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ	127
Плотников Д.А., Шахова А.В.	
ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА СТЕКЛОВАРЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРООБОГРЕВА.....	133
Плотников Д.А., Шахова А.В.	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ СНИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КИСЛОРОДНОГО СЖИГАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА	138
Сапрыкин Д.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОБОЧНОГО ПРОДУКТА АО «ЕВРАЗ ВАНАДИЙ ТУЛА» В ПРОИЗВОДСТВЕ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ.	143
Скворцов А.А., Сухоносова И.Д.	
ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА УДАРОПРОЧНОСТЬ СТЕКЛЯННОЙ ТАРЫ.....	148
Смагина А.Р., Колесова А.С., Дудина Е.И.	
ПОЛУЧЕНИЕ КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ РУСИНОВСКОЙ ГЛИНЫ.....	153
Смагина А.Р., Трепалин Д.В.	
РАЗРАБОТКА ЛЕГКОПЛАВКОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ СВЯЗКИ ДЛЯ АБРАЗИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ	157
Субботин В.Д.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В ТЕХНОЛОГИИ ЦЕМЕНТА	161
Таралло З.В., Ерыгина А.О.	

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛИЗАТОРА И
ДИСПЕРСНОСТИ КРЕМНЕЗЕМСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА
НА СКОРОСТЬ УСВОЕНИЯ САО 166

Трепалин Д.В., Смагина А.Р.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА
МЕЛКОФРАКЦИОННОГО КЕРАМЗИТА СУХИМ
ПОРОШКОВЫМ СПОСОБОМ 171

Фролова А.Ю., Дреер Ю.И., Аксяева А.С.

ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ИЗВЕСТНЯКА НА ГИДРАТАЦИЮ
ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ C_3A 173