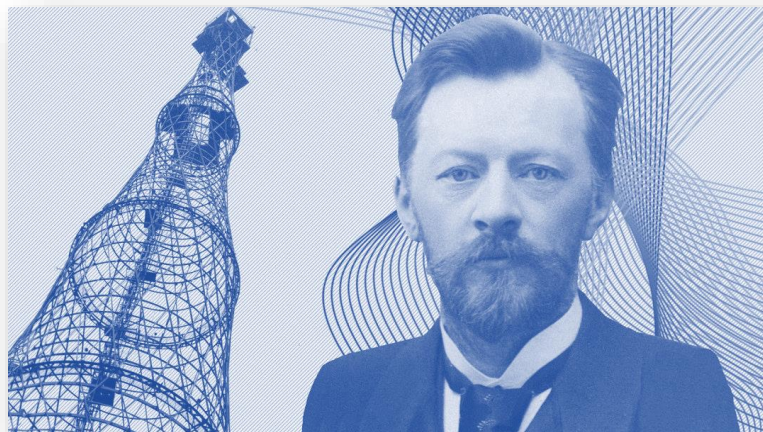


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
Российская академия архитектуры и строительных наук  
Администрация Белгородской области  
ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический  
университет им. В.Г. Шухова  
Международное общественное движение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

**Международная научно-техническая  
конференция молодых ученых  
БГТУ им. В.Г. Шухова,  
*посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова***



*Сборник докладов*

*Часть 11*

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

Белгород  
16-17 мая 2023 г.

УДК 005.745

ББК 72.5

М 43

М 43

**Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова [Электронный ресурс]:** Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2023. – Ч. 11. – 198 с.

ISBN 978-5-361-01142-1

В сборнике опубликованы доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, представленные по результатам проведения Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященной 170-летию со дня рождения 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

**ISBN 978-5-361-01142-1**

©Белгородский государственный  
технологический университет  
(БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2023

## Оглавление

Айдочкин Е.В., Москвичев Д.С.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ЦЕМЕНТА И  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК ..... 8

Акименко А.В., Ястребинский Р.Н.

КОМПОЗИЦИОННЫЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ С ЭФФЕКТОМ САМОЗАЛЕЧИВАНИЯ..... 12

Брагина В.С., Валуйских К.А., Сабинин Н.А.

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС НА ОСНОВЕ ГЛИНЫ  
ЛЕБЕДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА..... 15

Бурькина М.О., Соловьева О.Г.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ГИДРАТАЦИОННЫЕ  
СВОЙСТВА СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ..... 20

Вакуленко Д.А., Исаева А.С., Журавлёва К.Д.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННОГО МАСЛА В  
ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА ..... 25

Валуйских К.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКОЙ  
ФАСАДНОЙ ПЛИТКИ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МАСС С  
МНОГОСТАДИЙНЫМ РЕЖИМОМ ОБЖИГА ..... 28

Васильков Д.А.

ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА  
ПУТЁМ ЕГО СТАБИЛИЗАЦИИ ..... 33

Великородных А.Ю., Ищенко Д.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛИН ЧИБИСОВСКОГО И ЛЕБЕДИНСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛИНКЕРНОЙ КЕРАМИКИ ..... 37

Великородных А.Ю.

ПЕНОДИАТОМИТОВЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВКВС ДИАТОМИТА ..... 42

Горяева Ю.Ю.

ПОЛУЧЕНИЕ АЛЮМОФЕРРИТНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ  
НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ..... 47

Гостев Н.С., Лопарев А.С.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ГИПСА В ПРОИЗВОДСТВЕ  
ЦЕМЕНТА ..... 51

Гусейнова В.В., Линец В.В., Пилавиду Е.О.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОДУКТОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В  
ПОРИСТОМ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ ..... 56

Дреер Ю.И., Кислов В.С., Савельева М.С.

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА СИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ  
ПОД ВЛИЯНИЕМ МИНЕРАЛИЗАТОРА ..... 61

Дудина Е.И., Смагина А.Р.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА ШАМОТНОГО КИРПИЧА НА ОАО  
«ОГНЕУПОРЫ» г. БОГДАНОВИЧ..... 67

Дюндина В.П.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ..... 70

Журавлёва К.Д., Заколотня Д.А., Вакуленко Д.А.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АО «ВАНАДИЙ ТУЛА»  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ ..... 72

Загирный Р.В., Чуриков А.С.

ВЛИЯНИЕ ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЫ БЕЛОГО ЦЕМЕНТА  
МРАМОРНОЙ МУКОЙ НА БЕЛИЗНУ И ИСТИРАЕМОСТЬ  
ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ..... 75

Заколотня Д.А., Журавлёва К.Д., Вакуленко Д.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ АО «ВАНАДИЙ  
ТУЛА» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ... 79

Иван Рейес, Карлос Торрес, Синтия Мора

ЗАДАЧА ПЕРЕХОДА К МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
В ЭКВАДОРЕ: ВОЗМОЖНОСТИ И РИСКИ ..... 82

Исаева А.С., Вакуленко Д.А.

ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В  
КАЧЕСТВЕ ВЫГОРАЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА СОСТАВ И  
КАЧЕСТВО КЛИНКЕРА ..... 85

Кидане В.Г., Рязанов Д.И.

ПОВЫШЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ  
СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ..... 89

Крайненко В.В., Мошков И.П., Гончаров А.А.

ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ  
СПОСОБНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ГИПСОВЫХ  
ФАЗ..... 94

Крапивин С.Н., Куликов А.В., Лопарев А.С.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВВОДА МИНЕРАЛИЗАТОРА НА  
ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЛОГО ЦЕМЕНТА ..... 99

Кузин Е.Н.

СИНТЕЗ ТИТАНАТОВ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ..... 105

Лазарова Ю.С.

НОВОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОВОЛОКНА .... 108

Лозовая Ю.М.

РАЗРАБОТКА КЛЕЕВОГО СОСТАВА ЭПОКСИДНОЙ  
КОМПОЗИЦИИ С УЛУЧШЕННЫМИ ФИЗИКО -  
МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ..... 113

Лопарев А.С., Крапивин С.Н., Гостев Н.С.

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ НА БЕЛИЗНУ КЛИНКЕРА  
БЕЛОГО ЦЕМЕНТА ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ ВВОДЕ  
МИНЕРАЛИЗАТОРА ..... 116

Мальцев Е.А.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ  
КВАРЦИТОВ КМА В ПРОИЗВОДСТВЕ ВЯЖУЩИХ ..... 121

Митяева А.Ю., Маслов И.Н.

ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДА В ЭНЕРГЕТИКЕ.....	126
Павлова И.А., Ручий А.Ю., Трепалин Д.В.	
ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ НА СВОЙСТВА ОГНЕУПОРНОГО БЕТОНА .....	129
Петров А.В., Маслов И.Н.	
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗА СЧЁТ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ .....	134
Поварницына В.Д.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ВОДООТДЕЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ СУСПЕНЗИЙ .....	137
Попущалова А.С.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА НА СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА .....	141
Продан Н.Ф.	
СТЕКОЛЬНАЯ ВЯЖУЩАЯ СУСПЕНЗИЯ КАК ГИДРАВЛИЧЕСКИ АКТИВНАЯ ДОБАВКА К ЦЕМЕНТУ .....	145
Радченко В.О., Куликов А.В., Никитина М.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА.....	149
Романюк А.М.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМООБРАБОТАННЫХ СЛАНЦЕВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА .....	153
Рябкова Я.А.	
СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ВЫСОЛООБРАЗОВАНИЯ В ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЯХ.....	157
Саблин А.О.	

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАКА ОАО «ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ» В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ .....	161
Сибирцев Д.А.	
СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ КОТТЕДЖЕЙ .....	166
Сиволгин В.И.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦЕВ КАК КОМПОНЕНТА СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ООО «ГОРНОЗАВОДСКЦЕМЕНТ».....	170
Смагина А.Р.	
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ДИАТОМИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ .....	176
Соловьева О.Г., Бурькина М.О.	
ВЛИЯНИЕ ФОСФОГИПСА НА СТАБИЛИЗАЦИЮ АКТИВНЫХ ФАЗ БЕЛИТА В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ШЛАКЕ.....	181
Шпак Д.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА КЛИНКЕРА НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМОГО ЦЕМЕНТА .....	186
Шумаков А.А.	
МНОГООБРАЗИЕ СВОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....	191
Шумаков А.А.	
СУШКА И СУШИЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ В ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	195

*Айдочкин Е.В., Москвичев Д.С.*

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

## ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ЦЕМЕНТА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

В наше время все более актуальна становится проблема загрязнения окружающей среды отходами различных производств. Одним из таких отходов металлургического производства, является шлак. Большинство шлаков складываются открытым способом и занимают огромные площади [1].

Однако цементная промышленность может использовать шлак как активную минеральную добавку, при этом, не только решая экологическую проблему, но и снижая себестоимость производства цемента, заменяя часть дорогостоящего клинкера шлаком [1].

Целью работы являлось изучение влияния добавки шлака на характеристики цемента.

В работе использовался клинкер АО «Себряковцемент», гранулированный шлак и гипс «Новомосковский», химические составы которых представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав: клинкер, шлак и гипс

Материал	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ППП
Клинкер	20,60	6,03	65,18	4,87	1,55	0,36	0,53	0,05	0,26	0,00
Шлак	33,47	6,11	43,93	0,27	2,47	0,84	0,54	1,50	-	0,03
Гипс	1,12	0,32	30,7	0,12	2,85	-	-	42,39	-	22,10

Металлургические шлаки могут быть использованы в качестве сырьевого компонента как заменителя карбонатной и глинистой породы. Вследствие повышенного содержания в них некарбонатного СаО снижается доля СаСО<sub>3</sub> в сырьевой смеси и, следовательно, затраты тепла на его разложение и в целом на процессы клинкерообразования [2].

Предварительно все используемые материалы пропускали через сито с размером ячейки 5 мм. Измельчение смесей проводили в лабораторной мельнице объемом 1 л, при неизменной массе мелющих тел (1200 г). Помол проводился различных по составу смесей, общая масса каждой составляла 100 г. Смеси состояли из клинкера и шлака



(последний в количествах 20, 30 и 40 %) в присутствии гипса. Измельчали совместным способом, когда помол всех компонентов одновременно идет в одной мельнице и раздельным, где диспергацию клинкера и шлака проводили отдельно, после чего смешивали и усредняли в мельнице с резиновыми пробками. Помол производился до достижения значения удельной поверхности  $300 \pm 20 \text{ см}^2/\text{г}$ . Каждые 10 минут определялись остатки на ситах и удельная поверхность проб.

На рис. 1-5 представлены величины остатков на ситах в зависимости от длительности измельчения. Так, кривая соответствующая пробе клинкер+20 % шлака размалывается медленнее остальных проб, в то же время образцы с содержанием 30 % и 40 % измельчаются практически одинаково, с небольшим преимуществом последнего состава. Такая же тенденция сохраняется в случае с удельной поверхностью. Выявлена закономерность, что при увеличении содержания шлака в смеси совместного помола с клинкером, остатки на сите №02 снижаются, а на сите №008 увеличиваются.

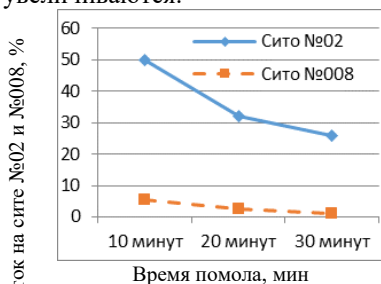


Рис. 1 Остатки на ситах при помоле клинкера

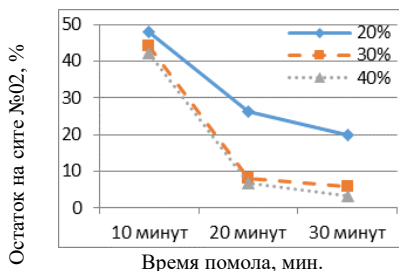


Рис. 2 Остаток на сите №02 при совместном измельчении смесей клинкера и шлака (в %)

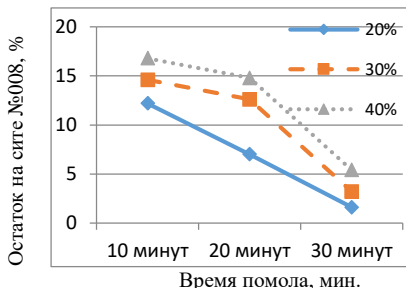


Рис. 3 Остаток на сите №008 при совместном измельчении смесей клинкера и шлака (в%)

Результаты измельчения представлены на рис. 4-5., где отмечается, что после 20 минут помола, фракция свыше 200 мкм (остаток на сите №02) представлена в большем количестве в пробе клинкера, но в ходе дальнейшего измельчения клинкер размалывается гораздо лучше, по сравнению с пробами шлака.

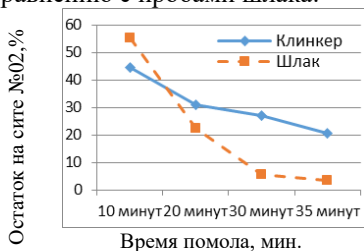


Рис. 4. Остаток на сите №02 при раздельном помоле цемента

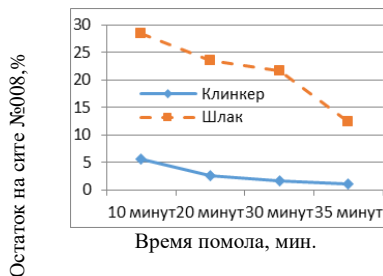


Рис. 5. Остаток на сите №008 при раздельном помоле цемента

Фракция  $80 \div 200$  мкм на сите №008 того же клинкера в несколько раз меньше, чем в соответствующих пробах шлака (рис. 5). Вероятно, на снижение размалываемости шлака влияет присутствие трудноразмалываемых зерен размером менее 200 мкм.

Для определения прочностных показателей полученного вяжущего совместного и раздельного помолов клинкера и шлака, готовили образцы кубической формы с размером грани 1,41 см. В возрастах 2, 7 и 28 сутки образцы подвергались прочностным испытаниям на сжатие.

На рис. 6 и 7 представлены результаты прочностных испытаний. Отмечается, что в случае с раздельным помолом, показатели прочности во всех сроках твердения как минимум не уступают соответствующим образцам, полученным путем совместного помола, но и в некоторых случаях превышают их.

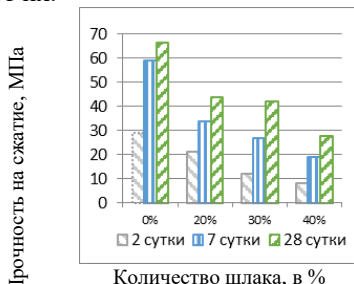


Рис. 6. Прочность цемента при совместном помоле

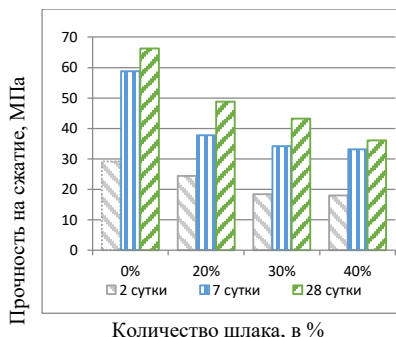


Рис. 7. Прочность цемента при раздельном помоле

Вероятно, при совместном измельчении на определённом этапе шлак начинает за счет абразивных свойств интенсифицировать измельчение клинкера, тем самым способствуя снижению остатков на сите №008 (рис. 3). Прочность образцов, полученных совместным помолем снижается с увеличением доли шлака в смеси (рис. 6). Так, снижение показателей образцов со шлаком в количестве 30 % и 40 % по сравнению с пробой 20 % шлака, составляло от 5 до 25 %.

Прочностные показатели образцов раздельного помола во всех сроках твердения выше, чем при совместном помолем. У образца, полученного раздельным путем, прочность составила 48,8 МПа в 28 суток, а при совместном 43,6 МПа.

Возможно, склонность к агрегации клинкера, в ходе совместного измельчения [4], негативно влияет на рост дисперсности вяжущего в целом и его прочности. При раздельном получении вяжущего, вероятно дисперсность клинкера достигает такой величины, которая способствует обеспечению повышения прочностных показателей, по сравнению с образцами совместного способа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка воздействия металлургических шлаков на состояние окружающей среды [Электронный ресурс] URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/53095434.pdf>
2. Классен В. К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций: учеб. пособие / В. К. Классен. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 308 с.
3. Шлаковый цемент состав и применение [Электронный ресурс] URL: <https://betonpedia.ru/shlakovyuy-tsement>

4. А.А. Пашенко, Теория цемента, К, 1991 [Электронный ресурс]  
URL: <http://www.alobuild.ru/teorija-cementa/sovместniy-pomol-klinkera.php>

*УДК 678.8:614.876*

*Акименко А.В., Ястребинский Р.Н.  
Научный руководитель: Черкашина Н.И., д-р техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **КОМПОЗИЦИОННЫЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ЭФФЕКТОМ САМОЗАЛЕЧИВАНИЯ**

На сегодняшний день человек сталкивается с такими видами ионизирующего излучения как: электромагнитное и корпускулярное, а также облучением от радиоактивных газов. В отличие от других видов излучения ионизирующее излучение вызывает разные физико-химические изменения в клетках организма, носящие необратимый характер [1-2].

Использование большого количества радиационных приборов и установок в жизнедеятельности человека, ставит актуальным вопрос использования радиационно-защитных материалов для обеспечения высокой степени биологической защиты и организации безопасного рабочего места [3-4].

Целью данной работы является обзор современных композиционных радиационно-защитных материалов с эффектом самозалечивания, способных обеспечить необходимый уровень биологической защиты при ионизирующем излучении и обладающих высокой продолжительностью эксплуатации.

На сегодняшний день в области радиационно-защитного материаловедения используются такие материалы как: железосодержащие и вольфрамсодержащие (они ослабляют потоки фотонного излучения); свинецсодержащие (ослабляют фотонное излучение); боросодержащие (поглощают тепловые нейтроны); тяжелые и серпентинитовые бетоны (наиболее широко распространенный строительный радиационно-защитный материал); гидриды металлов [5].

В последние годы интересное и перспективное направление в строительном и радиационном материаловедении – разработка новых

видов композиционных материалов, на основе металлических алюминиевых матриц и железосодержащих наполнителей.

Из композиционных материалов на основе металлических алюминиевых матриц также возможно изготовление не только облицовочных материалов, но и самих несущих строительных конструкций, которые могут подвергаться не только механическим воздействиям, но и интенсивному воздействию ионизирующего излучения и неоднократным знакопеременным температурным колебаниям [6-7].

Любой материал имеет определенный ресурс. Уязвимое место полимерных композиционных материалов – полимерная матрица, потому что в ней образуются трещины при нагрузках на протяжении срока эксплуатации изделия. Такие образования повреждений происходят на микроуровне и не видны невооруженным глазом, следовательно, их восстановление затруднено.

Диссипативные свойства полимерной матрицы можно регулировать с помощью химической модификации и введением в олигомерную систему различных модификаторов, таких как термопласты, эластомеры и наномодификаторы. Это позволяет повысить сопротивляемость к ударным нагрузкам и трещиностойкость, но этот подход не обеспечивает заживления микрповреждений, поэтому дополнительно к этим методам, вводят компоненты для самозалечивания. «Самозалечивающиеся» материалы – это искусственно созданные вещества или системы, способные автоматически частично или полностью восстанавливать исходные характеристики после причиненных им повреждений. Применение компонентов для самозалечивания может увеличить продолжительность эксплуатации изделия с ограничением вмешательства извне [8].

Самозалечивающиеся системы разделяют на две группы – внешнюю и внутреннюю. Их главное различие заключается в химической природе данного механизма. Внешнее самозалечивание происходит под действием внедренных лечащих агентов, как правило, это термопласты или реактопласты в виде закрытых капсул, открывающихся при формировании трещины.

Внутреннее самозалечивание материала основано на нековалентных и ковалентных химических связях. Наибольший интерес представляет реакция Дильса–Альдера. При таком механизме происходит обратимое образование связей, частичное восстановление структуры материала. Повторное образование химических сшивок

протекает под действием внешних условий: изменение pH; воздействие света, температуры, давления или кислорода [9].

Вторая форма классификации самозалечивающихся материалов, которая встречается в научной литературе, – это разделение на автономные и неавтономные системы. К автономным системам относится капсулирование, где специальные агенты автоматически высвобождаются в ответ на повреждение материала. В неавтономных системах необходимо сообщение энергии извне посредством нагрева (для участвующих ковалентных (реакция Дильса–Альдера и водородных связей) или ультрафиолетового излучения [8].

В данной статье рассмотрены композиционные радиационно-защитные материалы, которые обеспечивают высокую защиту от ионизирующего излучения и обладают эффектом самозалечивания. Рассмотрена классификация самозалечивающихся материалов и систем. Так как каждый механизм самозалечивания имеет свои особенности, необходимо учитывать то, в каких целях эксплуатируется изделие, для которого будет выбираться механизм самозалечивания.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павленко В.И., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В. Радиация и окружающая среда. Учебное пособие для студентов специальности 270105 - Городское строительство и хозяйство. Федеральное агентство по образованию, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. Белгород, 2009.

2. Матюхин П.В. Электронно-микроскопические исследования магнетитового железорудного концентрата подвергнутого воздействию высоких давлений прессования // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 174–182.

3. Матюхин П.В., Косов А.В. Композиционные материалы для защиты от космической радиации // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. С. 583-587.

4. Матюхин П.В., Ястребинская А.В., Павленко З.В. Использование модифицированного железорудного сырья для получения конструкционной биологической защиты атомных реакторов // Успехи современного естествознания. 2015. № 9-3. С. 507–510.

5. Рисованный В.Д., Захаров А.В, Клочков Е.П. Поглощающие материалы и стержни СУЗ инновационных ядерных реакторов //

Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2011. No. 1. С. 240-248.

6. Афанасьев А.А., Конотоп Ю.Ф., Одеичук Н.П. Гафний — перспективный поглотитель для пэлов СУЗ // Вопросы атомной науки и техники. 2000. No.

7. Павленко В.И., Матюхин П.В. Основные аспекты разработки современных радиационно-защитных конструкционных металлокомпозиционных материалов // Современные наукоемкие технологии. 2005. №10. С. 85-86.

8. Соколенко И.В., Ястребинский Р.Н., Матюхин П.В., Иваницкий Д.А. Разработка радиационно-защитного композита для защиты от гамма-излучения // Успехи современного естествознания. 2015. №10. С. 40-43.

9. Ястребинская А.В., Павленко В.И., Матюхин П.В., Воронов Д.В. Механическая активация полимерных диэлектрических композиционных материалов в непрерывном режиме // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2009. №3. С. 74-77.

**УДК 10167.66**

***Брагина В.С., Валуйских К.А., Сабинин Н.А.***

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

## **РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МАСС НА ОСНОВЕ ГЛИНЫ ЛЕБЕДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЛИНКЕРНОГО КИРПИЧА**

На рынке строительных материалов всё большую популярность набирает клинкерная керамика. До недавнего времени клинкерные изделия были относительно новым материалом, который выпускали исключительно зарубежные производители. Но с течением времени и развитием автоматизированных систем управления процессами отечественные предприятия взяли фокус на динамичное производство данного вида изделий. Поэтому целесообразно осветить вопросы технологии и свойств этого вида керамической продукции. По определению клинкер - это кирпич, плитка или фасонные изделия, обожженные до высокой степени спекания черепка без остекловывания поверхности и без признаков деформации [1].

В настоящее время клинкерный кирпич является наиболее востребованным видом изделий из этой отрасли. Потенциальные области применения клинкерного кирпича весьма широки и не ограничиваются использованием только его декоративных свойств. Благодаря таким эксплуатационным характеристикам, как высокая механическая прочность, химическая стойкость к большинству видов агрессивных воздействий и долговечность при циклическом замораживании-оттаивании в условиях насыщения соленой водой, применение этого вида изделий достаточно широко.

Устойчивость к внешним воздействиям позволяет использовать клинкерный кирпич для мощения городских дорог, обрабатываемых противогололедными реагентами, и для облицовки цоколей городских зданий. Выбор клинкерного кирпича в целях мощения представляется наиболее потенциально востребованным, так как спрос на мощеные тротуары взамен асфальтированных в последнее время получает уверенное развитие [2].

Помимо этого, применение клинкерного кирпича для лицевой кладки также представляется довольно перспективным, что связано с востребованностью облицовок толщиной в полкирпича в современном строительстве и проблематичностью обеспечения их долговечности, выполняемых в многоэтажном строительстве с использованием пустотелого лицевого керамического кирпича [3].

В данной статье рассмотрена возможность использования глины Лебединского месторождения и добавки стеклобоя в количестве 5 и 10 % в состав массы для производства клинкерного кирпича и изменение эксплуатационных характеристик, цвета и внешнего вида.

Проблема дефицита природного сырья для материалов клинкерной промышленности на протяжении последних лет не теряет своей актуальности, что обусловлено быстро развивающимися темпами строительства. В связи с этим главной задачей строительной индустрии стало переориентация предприятия на потребление техногенного сырья. Стеклобой представляет собой трудно утилизируемый отход неподвергающийся воздействию воды, атмосферных явлений и не разрушающийся под воздействием органических, минеральных и биологических активных организмов. Поэтому данный материал является перспективным сырьем для производства клинкерного кирпича [4,5].

Была отобрана навеска исследуемой глины Лебединского месторождения со следующим химическим составом (в %):  $\text{SiO}_2$ -66,55;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -15,63;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -3,76;  $\text{TiO}_2$ -0,77;  $\text{CaO}$ -0,71;  $\text{MgO}$ -2,15;  $\text{K}_2\text{O}$ -2,02;  $\text{Na}_2\text{O}$  - 0,53; п.п.п. - 7,88, а также бой тарного стекла. Глинистое сырье



измельчалось в щековой дробилке, после чего подверглось помолу на бегунах до полного прохода на сите №063. Бой тарного стекла был измельчен в шаровой мельнице. Затем изготавливалось 2 вида шихты. Составы приведены в таблице 1.

Таблица 1- Составы масс

№ состава \ Основной компонент	1	2	3
Глина	100%	95%	90%
Стеклобой	0%	5%	10%

Для приготовления пластической массы оба состава увлажняли до влажности 19%. Готовые массы для пластического формования подвергались вылеживанию в эксикаторе в течение 24 часов в целях установления однородности смесей. Прессование осуществлялось вручную с использованием пресс-формы с размером 30x30x30 мм. Самым ответственным этапом исследования является обжиг. Он проводился в муфельной лабораторной печи при температурах: 950 °С, 1000 °С, 1050 °С, 1100 °С. Обжиг осуществлялся с выдержками при 600 °С, 900 °С, и максимальных температурах, указанных выше.

Далее (Рис. 1-4) представлены графики зависимости показателей водопоглощения, пористости, прочности и плотности от температуры обжига и состава кирпича.

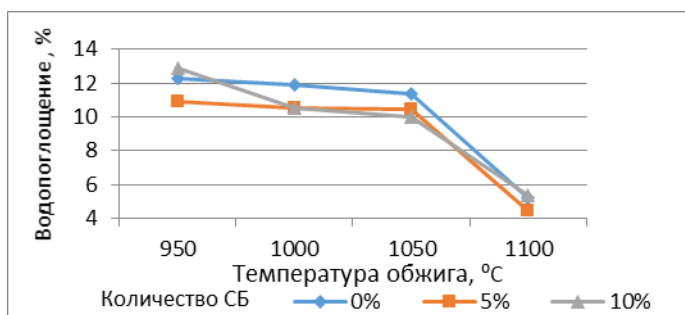


Рис. 1 График зависимости водопоглощения от температуры обжига и количества стеклобоя в материале

На рис. 1 видно, что добавление стеклобоя в количестве 5-10 % положительно влияет на этот показатель, снижая его. При содержании

стеклобоя в массе 5 % значения наиболее стабильные, а в районе температуры 1100 °С определяется самой низкой цифрой, что очень важно для керамических изделий.

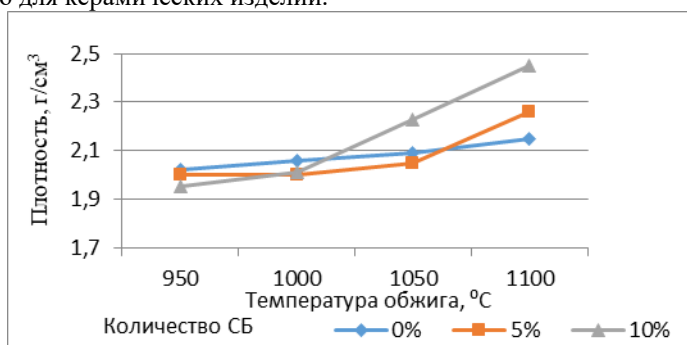


Рис. 2 График зависимости плотности от температуры обжига и количества стеклобоя в материале

На графике зависимости плотности от количества стеклобоя в материале (Рис. 2) можно увидеть, что при начальных температурах обжига существенного влияния стеклобой не оказывает ни в каком из составов, лишь ближе к температуре 1050 °С значения плотности начинают увеличиваться по сравнению с составом без добавки, при применении стеклобоя в количестве 10% повышение показателя несколько выше, чем в 5 %-ой массе.

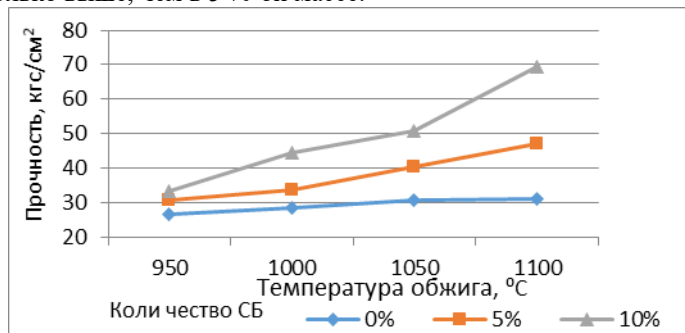


Рис. 3 График зависимости прочности при сжатии от температуры обжига и количества стеклобоя в материале

График зависимости прочности от количества стеклобоя в материале (Рис. 3) показывает, что на прочностные характеристики стеклобой оказывает положительное влияние, идёт значительное увеличение прочности по мере увеличения концентрации стеклобоя в

составе. Прочность увеличивается, начиная с 1000 °С в 1,6 раз, а при температуре 1100 °С введение 10 % стеклобоя приводит к росту прочности более чем в 2 раза, что особенно важно для клинкерной керамики.

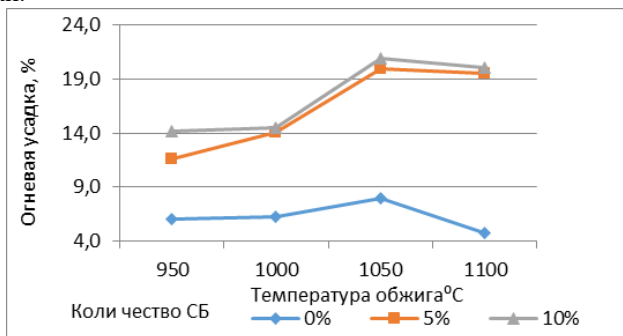


Рис. 4 График зависимости огневой усадки от температуры обжига и количества стеклобоя в материале

На рис. 4 видно, что стеклобой значительно увеличивает огневую усадку клинкерного кирпича, причём там, где использовали 10% стеклобоя, показатель усадки больше

Более того, при визуальном осмотре было выявлено, что использование стеклобоя при различных температурах обжига значительно расширяет цветовую гамму клинкерного изделия меняя его с рыжего на каштановый (Табл. 2). Это так же является не маловажным фактором, увеличивающим конкурентноспособность и востребованность продукции на сегодняшнем рынке материалов.

Таблица 2 - Изменение цвета образцов в зависимости от содержания стеклобоя и температуры обжига

Состав \ Температура	1	2	3
950°C			
1000°C			
1050°C			
1100°C			

На основании полученных результатов исследований можно сделать вывод о целесообразности использования стеклобоя в составе массы на основе глины Лебединского месторождения для получения клинкерной керамики.

Состав с добавлением 5 % стеклобоя соответствует всем требованиям ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия». У данного состава при максимальной температуре обжига 1100 °С минимальный показатель водопоглощения - 4, 5%, плотность находится в пределах 2,0 г/см<sup>3</sup>, а средняя прочность около 50 МПа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашеев И. Д. Свойства и применение клинкерного кирпича. /Учебное пособие: И. Д.Кашеев. - Москва.: Теплотехник, 2004. - 352 с.;
2. Матлашова А.С., Котельникова А.А. Подбор состава масс на основе Белгородских глин / А.С. Матлашова, А.А. Котельникова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. - №5. –С. 284-288
3. Онищук В.И., Жерновая Н.Ф., Минько Н.И., Кириенко А.Д., Кузьменко А.А. Стронтельные материалы на основе стеклобоя /Стекло и керамика. 1999. № 1. С. 5.
4. Мелконян Р.Г., Власова С.Г. Экологические и экономические проблемы использования стеклобоя в производстве стекла: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2013.
5. Калюжнов И. В. Зависимость гидравлической активности клинкера от степени измельчения отдельных сырьевых компонентов / И. В. Калюжнов, Е. С. Нураков, В. К. Классен // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2017. - № 7. - С. 75-80

**УДК 666.94**

***Бурькина М.О., Соловьева О.Г.***

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

## **ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА ГИДРАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА**

В процессе цементного производства расходуется большое количество природного сырья и электроэнергии, вследствие чего возникает потребность в применении вторичных ресурсов.

Вторичным ресурсом, а именно отходом производства, получаемым в большом количестве, является сталеплавильный шлак Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК).

Несмотря на то, что этот шлак схож с составом цементного клинкера и имеет потенциальную возможность получения вяжущего вещества, широкого применения в цементной промышленности на сегодняшний день он не находит. Основной причиной неиспользования данного шлака в качестве активной минеральной добавки к цементу и накопления отхода в отвалах является содержание в нём кристаллической  $\gamma$ -модификации двухкальциевого силиката. Данная фаза образуется в результате медленного охлаждения шлака и не обладает вяжущими свойствами [1-2].

Различные исследования показали, что гидратационные свойства шлаков можно менять при помощи их предварительной активации [3-5].

В данной работе исследовалась возможность использования сталеплавильного шлака ОЭМК в качестве активной минеральной добавки в цемент при его предварительной термической активации, а также выбор оптимального режима термообработки.

Основными материалами, используемыми в работе, являлись шлак ОЭМК и рядовой клинкер производства Себряковского цементного завода. Химический состав клинкера представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав клинкера, %

Содержание оксидов								ППП
CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
65,18	20,69	6,03	4,87	1,55	0,05	0,36	0,526	-

В таблице 2 представлены минералогический состав и характеристика клинкера.

Таблица 2 - Минералогический состав и характеристики клинкера

Минералогический состав, %				Модульные характеристики		КН
C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	n	p	
60,6	13,61	7,7	14,8	1,9	1,24	0,92

По результатам расчёта химического состава, а также рентгенофазового анализа клинкера можно сделать вывод о том, что клинкер представлен основными клинкерными минералами: C<sub>3</sub>S (3.03;

2.97; 2.78; 2.75; 2.61; 2.19; 1.77 Å); C<sub>2</sub>S (3.03; 2.78; 2.75; 2.61; 2.32; 2.19; 1.94; 1.77 Å); C<sub>3</sub>A (2.70 Å) и C<sub>4</sub>AF (2.65 Å).

В таблице 3 представлен химический состав шлака.

Таблица 3 - Химический состав шлака, %

Содержание оксидов								ППП
CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
42,80	22,16	4,23	15,27	10,16	0,76	0,20	0,028	2,18

Химический состав показывает, что данный шлак по химическому составу близок к цементной сырьевой смеси, однако отличается повышенным содержанием оксидов железа и магния

Результаты рентгенофазового анализа исходного шлака представлены на рисунке 1.

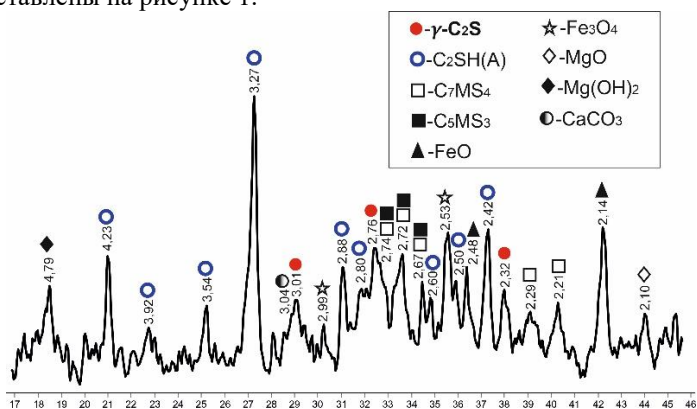


Рис. 1 Фрагмент рентгенограммы исходного шлака

Рентгенофазовый анализ шлака показал, что основными минералами являются низкоосновный гидросиликат кальция C<sub>2</sub>SH(A) и гидравлически неактивная γ-модификация двухкальциевого силиката, также в небольших количествах присутствуют: оксиды железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeO, кальциймагниевого силикаты C<sub>7</sub>MS<sub>4</sub> и C<sub>5</sub>MS<sub>3</sub>, MgO и Mg(OH)<sub>2</sub>.

Термическая активация шлака проводилась в лабораторной муфельной печи с выдержкой в течение 30 минут при температурах 500 и 900°C. Далее полученные спектры подвергались резкому охлаждению на воздухе.

Результаты рентгенофазового анализа термически обработанного шлака представлены на рисунках 2 и 3.

Полученные результаты позволяют судить о том, что при температуре 500°C всё ещё остаются небольшие отражения

гидросиликата кальция (4.22; 3.27; 2.85 Å). Это говорит нам о неполной дегидратации  $C_2SH(A)$  с образованием дополнительного количества двухкальцевого силиката, который в охлаждённом образце всё также фиксируется в низкотемпературной  $\gamma$ -модификации  $C_2S$  (3.04; 2.74 Å). Кроме того, на этом этапе протекают реакции окисления вюститита до гематита и магнетита.

При дальнейшем увеличении температуры до 900°C в процессе охлаждения уже стабилизируется только  $\beta$ -модификация двухкальцевого силиката (2.88; 2.79; 2.61; 2.41; 2.19 Å). Кроме того, завершаются процессы окисления оксида железа и процесс декарбонизации карбоната кальция.

На основании этого можно предположить, что протекающее при этой температуре большое количество реакций в шлаке, может оказать положительное влияние на его гидратационную активность.

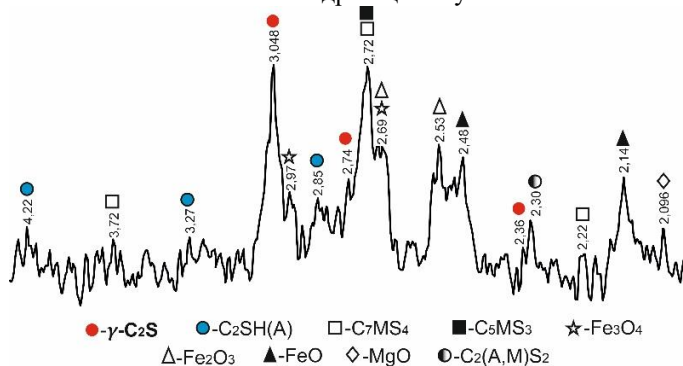


Рис. 2 Фрагмент рентгенограммы шлака, обожжённого при 500°C

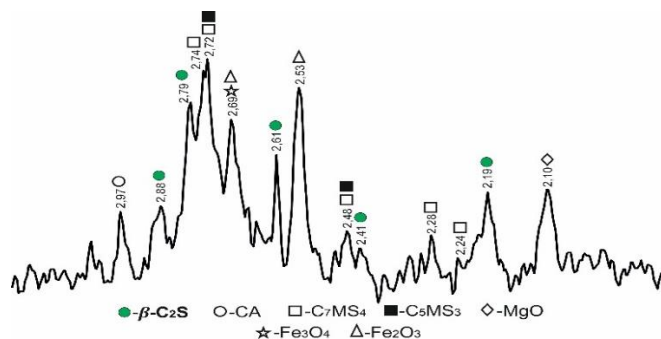


Рис. 3 Фрагмент рентгенограммы шлака, обожжённого при 900°C

Дальнейшим этапом работы являлось исследование возможности получения цемента при использовании термоактивированного шлака в качестве активной минеральной добавки.

Исследуемые образцы шлака добавлялись к цементу в количестве 20% по массе. Гидравлическая активность рядового и экспериментальных цементов определялась на лабораторном прессе в малых образцах. Для сравнения в таких же условиях испытывался рядовой цемент, полученный без использования активных минеральных добавок.

Результаты определения прочности цементов в 2, 7 и 28 суток твердения представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Зависимость прочности цемента от режима термической активации шлака

Цемент	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте сут.		
	2	7	28
Экспериментальные:			
№1 (исходный шлак)	24	51	58
№2 (шлак 500°С)	27	59	62
№3 (шлак 900°С)	24	43	67
№4 рядовой	29	66	89

Результаты исследований показали следующее. На начальных этапах твердения при увеличении температуры термической обработки шлака происходит снижение прочностных характеристик соответствующих экспериментальных цементов.

Так, прочность цемента №2 (шлак 500°С) составляла 27 и 59 МПа; а цемента №3 (шлак 900°С) – 24 и 43 МПа в 2 и 7 суток твердения соответственно. При этом прочность цемента №1 (исходный шлак) уступала только показателям цемента №2 (шлак 500°С) и была равна 24 и 51 МПа в 2 и 7 суток соответственно. Необходимо отметить, что все экспериментальные цементы уступали показателям рядового цемента, прочность которого в эти же сроки составляла соответственно 29 и 66 МПа.

К 28-ми суточному возрасту твердения зависимость несколько изменилась. Прочность экспериментального цемента №3 (шлак 900°С) значительно повысилась и составила 67 МПа, что на 13% больше, чем прочность цемента с исходным шлаком. Однако этот цемент всё ещё уступал показателю прочности рядового цемента, равному 85 МПа.



Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии термообработки сталеплавильного шлака на его гидратационные свойства. Термическая обработка шлака при температуре 900°C может позволить увеличить прочность при сжатии получаемого цемента более чем на 10% по сравнению с прочностью цемента с использованием в качестве активной минеральной добавки исходного шлака.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Бутт Ю.М. Технология цемента и других вяжущих материалов. Учебник для техникумов. Изд. 5-е, перераб. и доп. М., Стройиздат, 1976, с. 407.
2. Тейлор Х. Химия цемента. Пер. с англ. – М.: Мир, 1996. – 560 с.
3. Кудярова Н. П. Активность белитовых фаз сталеплавильных шлаков в автоклавных условиях / Н. П. Кудярова, Н. П. Бушуева, Е. Д. Старичкова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2017. – № 9. – С. 106-112.
4. Платунов М. А. Исследование возможности активизации шлаков ОЭМК / М. А. Платунов, А. А. Рощина // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2019 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2019. – С. 2579-2584.
5. Кудярова Н. П. Активизация белитовых фаз сталеплавильного шлака в присутствии оксида кальция / Н. П. Кудярова, Н. П. Бушуева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 5. – С. 151-154.

**УДК 666.943.4**

*Вакуленко Д.А., Исаева А.С., Журавлёва К.Д.  
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, можно использовать как утилизатор отходов других промышленности. В работе рассмотрена

возможность использования отработанного машинного масла как альтернативного топлива.

Отработанное масло является отходом, состоящим из: нефтепродуктов (от 57 до 94%), воды (до 3%) и железосодержащих примесей (от 3 до 40%). Его можно использовать как альтернативное топливо, так как оно содержит до 94% нефтепродуктов, которые обладают высокой теплотворной способностью – до 38 МДж/кг.

Эквивалентное количество 1% газообразного топлива  $Q_M^P/Q_{H\text{ газа}}^P = 1,76/1,25 = 1,41$ . Таким образом, 1,41% отработанного масла заменяет 1% газа.

Отработанное машинное масло можно использовать в качестве выгорающей добавки к сырьевому шламу при мокром способе производства цемента и в качестве альтернативного топлива [1]. Рассмотрен способ топливозмещения, при котором отработанное масло добавляют в шлам, как выгорающую добавку.

Проведенными расчетами установлено, что 1,05% отработанного масла от массы сырьевой смеси по теплотворной способности способно заместить до 10% технологического форсуночного топлива.

В соответствии с исследованиями В. К. Классена [2], для обеспечения необходимой для спекания клинкера температуры факела, в сырьевую смесь допустим ввод до 3% выгорающей добавки. Следовательно, ввод 1,05% отработанного масла в состав шлама не нарушит температурного режима работы вращающейся печи и позволит сэкономить до 10% технологического топлива.

Чтобы узнать, какое влияние окажет ввод отработанного машинного масла в качестве выгорающей добавки, процесс смоделирован в условиях исследовательской лаборатории. Для моделирования ввода выгорающей добавки высушенный шлам усреднили с 1,05% отработанного машинного масла. Из смеси сформовали брикеты, которые обожгли в лабораторной печи. В качестве контрольных образцов сформовали брикеты без добавок. Обжиг брикетов проведён с выдержкой при температуре 1450 °С один час.

По данным рентгенофазового анализа в составе бездобавочного клинкера и клинкера с добавкой отработанного масла в шлам присутствуют основные клинкерные минералы (Рис. 1, рис. 2).

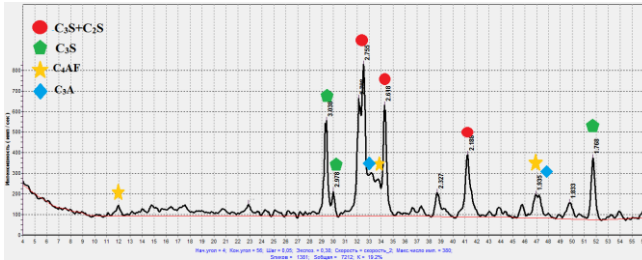


Рис. 1 Фрагмент дифрактограммы клинкера без добавок

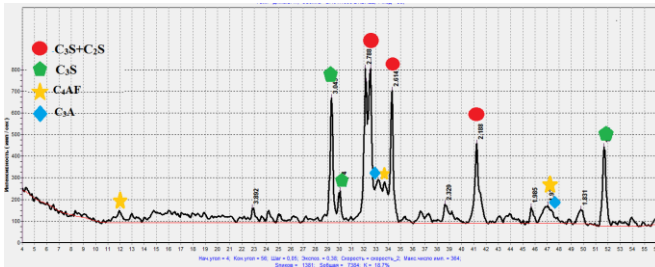


Рис. 2 Фрагмент дифрактограммы клинкера с добавкой отработанного масла

На рисунках 1 и 2 представлены фрагменты рентгенограммы клинкера без добавок и клинкера с добавкой отработанного масла. По данным рентгенофазового анализа можно сделать вывод, что топливозамещение в размере 10 % на маслоотход оказывает влияние на фазовый состав клинкера. При использовании масла в качестве выгорающей добавки зафиксированы: изменение кристаллизации силикатной и промежуточной фазы.

Чтобы определить гидравлическую активность синтезированных клинкеров, божеённые образцы измельчили до  $S_{уд} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$  и усреднили с 5% гипса, получив цемент.

Гидравлическую активность двух видов клинкера определяли по пределу прочности на сжатие малых образцов из цементного теста с водоцементным отношением В/Ц=25%. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица - Влияние добавки отработанного масла на гидравлическую активность цемента

Добавка, %	Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте сут.		
	2	7	28
0	27	60	74
1,05	32	54	69

Полученные результаты демонстрирую, что 10% топливозамещение путём ввода отработанного машинного масла в шлам в качестве выгорающей добавки, не оказывают отрицательного влияния на качество 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/a/Y8D-a0haPkJfGzIb> (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 шлама.// 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. Т. 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 10167.66**

*Валуйских К.А.*

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИЧЕСКОЙ ФАСАДНОЙ ПЛИТКИ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МАСС С МНОГОСТАДИЙНЫМ РЕЖИМОМ ОБЖИГА

Керамическая фасадная плитка - наиболее практичный и долговечный облицовочный материал. Он используется для отделки

архитектурных элементов фасадов зданий, таких как стеновые панели, блоки, цоколи зданий, облицовки фасадных поверхностей лоджий, поясов, карнизов и создания разнообразных декоративных решений.

Благодаря разнообразному ассортименту фактурных решений и цветовой гаммы, долговечности и набору уникальных эксплуатационных характеристик, он представляет собой востребованный материал для любого интерьера и дизайна. Фасадные плитки производятся в различных формах: плоские, угловые и перемычные. Они могут быть одноцветными или многоцветными, полностью или частично глазурованными (прозрачными или тусклыми, матовыми или глянцевыми), гладкими, рифлеными или рельефными [1]. Малогабаритные фасадные плитки выпускаются с гладкой или текстурированной поверхностью и имеют углубленную заднюю поверхность для лучшего сцепления с цементным раствором.

Фасадные плитки обладают достаточной прочностью и атмосферостойкостью. Данный материал характеризуется повышенным уровнем сопротивления к воздействиям окружающей среды, стойкостью к перепадам температур. Одним из важнейших показателей фасадных плиток является их морозостойкость, определяемая числом циклов попеременного замораживания и оттаивания насыщенных водой плиток без видимых признаков разрушения.

Достижение качественного набора показателей и характеристик в первую очередь осуществляется путем правильного и рационального подбора состава керамической плитки [2].

Для разработки нового рационального состава керамической массы, позволяющей получать фасадные керамические плитки хорошего качества с приемлемыми эксплуатационными показателями были определены 4 экспериментальных состава, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1- Составы экспериментальных масс

Компонент массы	Состав №1	Состав №2	Состав №3	Состав №4
Глина Весёловская	42%	42%	52%	42%
Песок кварцевый	18%	18%	10%	-
Шамот	10%	10%	-	10%
Пегматит Мальшевский	-	8%	12%	18%
Технический глинозём	22%	22%	-	20%
Мел	2%	-	3%	-
Бентонит	-	-	3%	-
Стеклобой	6%	-	20%	10%

Для производства экспериментальных образцов фасадных керамических плиток в лабораторных условиях была выбрана технология полусухого прессования [3]. Первым этапом изготовления являлась подготовка сырьевых компонентов. Все материалы подвергались измельчению в шаровых мельницах методом мокрого помола. Глинистые компоненты измельчались в соотношении с мелящими телами как 1:1,5, а непластичные компоненты как 1:2, количество используемой воды – не более 60% от объёма мельницы. В качестве мелящих тел были использованы керамические шары. Измельчение велось до остатка материала на сите №063 не более 2%.

Вторым этапом было приготовление шликера. Высушенный материал в соответствии с процентным содержанием для каждого состава строго дозировался на аналитических весах с точностью 0,01г с учётом того, что общая масса составляла 500 г. Было приготовлено 4 различных состава, тщательное смешение каждого было осуществлено в шаровых мельницах.

После чего, производилось увлажнение каждого состава до прессуемой влажности равной 8%. Увлажнённые массы подвергались вылёживанию в эксикаторе в течение 24 часов с целью повышения однородности смеси и усреднения её параметров [4].

Третий этап – прессование плиток, который осуществлялся с помощью формы 60 x15 мм и лабораторного пресса П-10. Прессование проводили при давлении 4000 кгс или 45ГПа. Было отформовано по 15 плиток каждого состава. Далее свежотформованные образцы были взвешены, также проведены измерения геометрических параметров.

После этого шёл процесс сушки образцов в сушильном шкафу при температуре 105°C. Высушенные плитки были взвешены и были измерены их геометрические параметры для выявления усадки образцов.

Обжиг изделий проводился в камерных печах при четырёх температурах: 1100°C, 1150°C, 1200°C, 1250°C. На каждую температуру было отобрано по 3 образца от состава. Процесс обжига длился около 7 часов. Обожжённые образцы после полного охлаждения снова были измерены и взвешены для последующего определения огневой усадки. Образцы 3 состава при максимальной температуре 1250 °C деформировались, потеряли изначальную форму, сильно увеличились во всех геометрических направлениях и получили стекловидную, бугристую поверхность, поэтому исследование характеристик этих образцов не целесообразно.

Таблица 2 – Средние значения эксплуатационных характеристик фасадной керамической плитки

Состав	Температура обжига	Водопоглощение	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Прочность на изгиб, кгс/см <sup>2</sup>	Огневая усадка, %
№1	1100°C	8,63	2,26	19,48	112	3,31
	1150°C	5,32	2,36	12,54	125	2,22
	1200°C	2,8	2,42	10,93	143	2,12
	1250°C	1,28	1,88	8,39	137	3,05
№2	1100°C	9,74	2,22	21,59	53	7,65
	1150°C	7,45	2,32	17,31	93	6,55
	1200°C	4,44	2,44	10,42	128	8,77
	1250°C	2,33	1,7	5,88	164	9,95
№3	1100°C	7,13	1,91	12,64	62	1,62
	1150°C	3,43	1,88	9,90	62	1,22
	1200°C	2,03	1,63	6,93	57	1,05
	1250°C	0,85	1,30	4,12	41	Деформированы
№4	1100°C	12,46	1,84	28,47	28	7,24
	1150°C	10,63	1,88	25,52	47	8,52
	1200°C	9,21	1,97	18,35	74	9,27
	1250°C	4,94	2,14	10,57	75	9,05

На основании полученных результатов, можно сделать заключение о том, что наиболее пригодным по всем эксплуатационным показателям и внешней оценке является состав №3. При температуре обжига 1150 °С. Показатели: водопоглощение – 3,43% , плотность – 1,88 г/см<sup>3</sup>, открытая пористость – 9,90 %, прочность – 62 МПа, огневая усадка – 1,22 %.

Помимо технических характеристик, у плиток данного состава отмечены и превосходные эстетические параметры: стабильная, лишённая деформаций форма, ровная поверхность, приятный светлорыжий оттенок.



Рис. 1 образцы плиток состава №3 при температуре обжига 1100°C

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горбунов, Г.И. Керамическая плитка. Технология производства и новые предложения / Г.И. Горбунов, Д.Ф. Звездин // Российский Химический Журнал. Химия современных строительных материалов. Том XLVII. - 2003. - №4. -С.55-61

2. Матлашова А.С., Котельникова А.А. Подбор состава масс на основе Белгородских глин / А.С. Матлашова, А.А. Котельникова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. - №5. –С. 284-288

3. Панчук Н.Н., Логинов С.С. Современные строительные материалы, технологии производства и их влияние на архитектурный облик зданий /Н.Н. Панчук, С.С. Логинов // Дальний Восток: Проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. Хабаровск: Изд-во Тихоокеанский государственный университет. 2014. № 1. С. 156–159.

4. Лукин Е.С. , Андрианов Н.Т. Технический анализ и контроль производства керамики: Учебное пособие / Е.С. Лукин, Н.Т. Андрианов.- Москва: Издательство литературы по строительству, 1982. – 156 с.

5. Дороганов В.А Модифицирующие добавки и высокоплотные керамические композиты различного назначения с использованием искусственных керамических вяжущих: статья в сборнике трудов конференции / В. А. Дороганов, Е.А. Дороганов, Н.А Перетокина, В.И. Онищук, Ю.Н. Трепалина, О.В Гавшина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2016.№ 2 –С. 126-139

6. . Трепалина Ю.Н. Изучение свойств глин Саратовской области для производства керамического кирпича: статья в сборнике трудов



**УДК 666.94**

**Васильков Д.А.**

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

## **ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА ПУТЁМ ЕГО СТАБИЛИЗАЦИИ**

Как известно, производство портландцемента это сложный и очень энергозатратный процесс [1]. Поэтому существуют способы сокращения и снижения данных затрат путём ввода в цемент активных минеральных добавок [2].

К активным минеральным добавкам можно относить органические и неорганические природные материалы. Основной характеристикой, при которой можно использовать материалы в качестве добавок, является наличие в них гидравлических свойств [3-6]. Искусственные минералы самые распространённые в использовании. Они представляют собой побочные продукты или отходы различных производств. Первым можно выделить доменный шлак, который получил свою популярность из-за наличия в нём большого количества стекловидной фазы (до 98%), что повышает его гидравлическую активность. Сталеплавильный шлак, из-за медленного охлаждения в отвалах, является негранулированным и практически не содержит стекла. Становясь полностью закристаллизованным, он теряет свои гидравлические свойства, что ограничивает его использование в роли активной минеральной добавки.

Целью данной работы являлось изучение возможности повышения активности сталеплавильных шлаков путём стабилизации в них не инертных модификаций белита с перспективой их дальнейшего использования как активной минеральной добавки в цемент.

В предыдущей статье были описаны результаты исследований, которые показали возможность использования добавок  $K_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$  и  $CaSO_4$  для стабилизации гидравлически активных фаз двухкальциевого силиката в сталеплавильном шлаке ОЭМК с последующим его добавлением в цемент [7].

Для изучения влияния добавок-стабилизаторов  $K_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$  и  $CaSO_4$  на гидравлическую активность шлака и установления их

оптимального количества были выбраны несколько концентраций (табл.1.)

Таблица 1 – Расчётное количество добавок-стабилизаторов от массы шлака

Добавка	Концентрация, %		
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,3	0,7	0,9
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,8	2,0	2,6
CaSO <sub>4</sub>	0,5	1,2	1,5

Стабилизация в шлаке гидравлически активных модификаций C<sub>2</sub>S при различных режимах его охлаждения с использованием добавок-стабилизаторов в количествах, приведенных в табл.1, проводилась по способу, описанному в предыдущей статье [7].

Данные рентгенофазового анализа проб, полученных после обжига шлака, показали, что результаты предыдущего эксперимента полностью повторились. Даже при использовании меньшего количества добавок в шлаке происходит стабилизация β-C<sub>2</sub>S (d = 2.87; 2.79 и 2.75 Å), при этом исчезают отражения γ-C<sub>2</sub>S (d = 3.04; 2.73 и 2.32 Å), который присутствовал в исходном шлаке. Режим охлаждения не повлиял на качественный фазовый состав шлака.

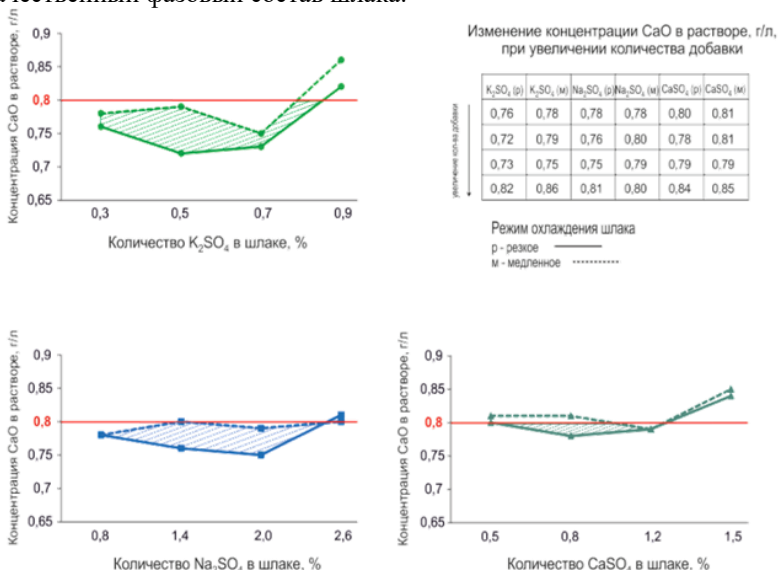


Рис. 1 Влияние количества добавок-стабилизаторов на активность шлака

В связи с этим следующим этапом работы было определение активности шлака до и после проведения стабилизации.

В результате исследований были определены области оптимальных концентраций добавок-стабилизаторов  $K_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$  и  $CaSO_4$ . При нахождении количества добавок в этих областях наблюдалось увеличение активности шлака по сравнению с исходным шлаком без добавок (рис. 1).

Наилучший положительный эффект был получен при использовании добавки  $K_2SO_4$ . Оптимальным количеством её ввода в шлак оказалось до 0,7%. Выше этого значения наблюдалось резкое снижение активности шлака. Дальнейшие исследования было принято проводить только с добавкой  $K_2SO_4$ .

Из цементов, полученных из шлака с добавкой-стабилизатором  $K_2SO_4$ , были приготовлены малые образцы-кубики с размером ребра 1,41 см. Прочность при сжатии цементов определялась в возрасте 2 и 28 суток твердения (табл.2).

Таблица 2 – Прочность цемента в зависимости от количества  $K_2SO_4$  в шлаке

Цемент	Кол-во добавки, масс.%	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут.	
		2	28
№1 шлак без добавки	0	24	68
№2 с доб. $K_2SO_4$ (р)	0,3	25	74
№3 с доб. $K_2SO_4$ (м)		22	73
№4 с доб. $K_2SO_4$ (р)	0,7	32	72
№5 с доб. $K_2SO_4$ (м)		29	65
№5 с доб. $K_2SO_4$ (р)	0,9	30	70
№6 с доб. $K_2SO_4$ (м)		26	64

Режим охлаждения: р – резкое, м – медленное

Гистограммы зависимости прочностей цементов от количества добавки  $K_2SO_4$  в шлаке после 28 суток твердения приведены на рис. 2.

В результате проведенных исследований было установлено, что при увеличении концентрации добавки-стабилизатора наблюдается постепенное снижение прочности цемента.

Оптимальным количеством является 0,3% добавки  $K_2SO_4$ . Прочность цемента при этом составляет 74 и 73 МПа при резком и медленном режимах охлаждения шлака соответственно, что превышает значение прочности цемента при использовании исходного шлака без добавки, равное 68 МПа.

При дальнейшем увеличении концентрации добавки  $K_2SO_4$  до 0,9% происходит снижение прочности цемента до 70 и 64 МПа при резком и медленном охлаждении шлака соответственно. Предположительно, это связано с увеличением количества нежелательных в цементе оксидов  $SO_3$  и  $R_2O$ , содержание которых принято ограничивать.

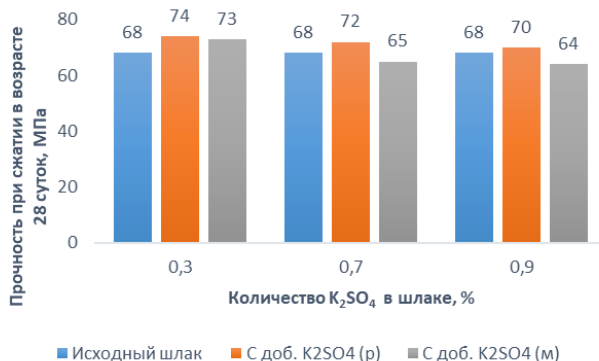


Рис. 2 Прочность цемента в зависимости от количества  $K_2SO_4$  в шлаке (режим охлаждения шлака: р – резкое, м – медленное)

Чтобы проверить это предположение, были определены расчётные количества этих оксидов в цементе при различных концентрациях добавки  $K_2SO_4$ .

Установлено, что во всех случаях содержание  $SO_3$  и  $R_2O$  находятся в пределах допустимых значений. Однако, несмотря на это всё равно необходимо чётко контролировать их содержание, иначе это может негативно отразиться на прочности получаемого цемента.

Таким образом, результаты работы свидетельствуют о возможности повышения гидравлической активности сталеплавильного шлака путём стабилизации в нём активных фаз белита, которые как при медленном, так и при резком режиме охлаждения не будут подвергаться переходу в инертную  $\gamma$ -модификацию. При использовании стабилизированного оптимальным количеством добавки шлака ОЭМК наблюдается увеличение прочности при сжатии получаемого цемента в 28-ми суточном возрасте твердения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента. Белгород: Изд-во. БГТУ, 2012. С. 308.

2. Классен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е. Техногенные материалы в производстве цемента. Белгород: Изд-во. БГТУ, 2008. С. 126.
3. Кравченко В.П. Оценка гидравлической активности доменных шлаков // Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2010. N 20. С. 44-47.
4. Кудеярова Н.П., Бушуева Н.П., Старичкова Е.Д. Активность белитовых фаз сталеплавильных шлаков в автоклавных условиях // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2017. N 9. С. 106-112.
5. Пименов А.Т., Прибылов В.С. Модификация составов металлургических шлаков для повышения их гидравлической активности // Современные материалы, техника и технология. 2018. N 6. С. 106-112.
6. Щербак С.А., Елисеева М.А., Калиниченко Н.В. Характеристика шлаков и их активация // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2009. N 11. С. 4-8.
7. Васильков Д.А., Морозова И.А. Повышение гидравлической активности сталеплавильных шлаков // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Материалы конференции. Белгород, 2021. С. 2919-2925.

*УДК 666.3/7*

*Великородных А.Ю., Ищенко Д.А.*

*Научный руководитель: Перетоккина Н.А., доц.*

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛИН ЧИБИСОВСКОГО И ЛЕБЕДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В ПРОИЗВОДСТВЕ КЛИНКЕРНОЙ КЕРАМИКИ**

Наиболее ответственным в строительстве является выбор отделочных материалов. Отделочные материалы должны обладать следующими свойствами: прочностью, морозостойкостью, низким водопоглощением, а также должны быть экологичными и долговечными.

К таким материалам, обладающим данными свойствами, относится клинкерная керамика (клинкер).

Клинкерная керамика (клинкер) – это один из видов керамики, полученный на основе высокопластичной сланцевой глины с низким содержанием солей и примесей.

Получают клинкерную керамику методом экструзии (выдавливания) и последующего обжига [1].

По своей структуре клинкерные керамические материалы – плотные, микрзернистые, без крупных включений и пустот, так как содержит высокое количество стеклофазы. Поэтому она имеет высокие эксплуатационные характеристики.

Основным компонентом для производства клинкерной керамики является глина.

Глина – это осадочная горная порода, содержащая минералы группы каолинита, монтмориллонита и других слоистых алюмосиликатных минералов. При затворении водой образуют пластичные массы [2].

Изготавливают клинкерный кирпич для обустройства тротуаров, переходов, парковых дорожек, а также для отделки пола в балконах и лоджиях по ГОСТ 32311-2012 «Кирпич керамический клинкерный для мощения. Технические условия», а также по ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» для кладки фундаментов, сводов, стен, подверженных большой нагрузке [3 - 4].

Для исследования технических характеристик и обоснования применения в производстве клинкерной керамики были выбраны две глины: Чибисовского и Лебединского месторождения, имеющие следующий химический состав, указанный в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав исследуемых глин

Месторожде ние глины	Содержание оксидов, мас.%								
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO 2	Ca O	Mg O	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	п.п. п.
Чибисовское	67,7 0	20,3 0	1,60	1,2 0	0,7 0	0,20	0,7 0	0,60	7,00
Лебединс- кое	66,5 5	15,6 3	3,76	0,7 7	0,7 1	2,15	2,0 2	0,53	7,88

Из химического состава видно, что Чибисовская и Лебединская глины по содержанию глинозема являются полукислыми (14 – 28% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и относятся к классу тугоплавких глин [5].

Обе глины по содержанию глинистых минералов являются полиминеральными и включают в себя каолинит, монтмориллонит и гидрослюда [6].

Глиняные образцы были получены методом прессования в металлических формах с ребром 30 мм. Далее образцы высушивались в сушильном шкафу при температуре 110 °С до постоянных показателей массы. После сушки каждая партия образцов подвергалась обжигу при температуре 950 – 1150 °С с шагом 50 °С.

На производстве обжиг клинкерной керамики ведется при достаточно высоких температурах 1200 – 1300 °С.

В ходе лабораторных испытаний образцов Чибисовской и Лебединской глины были определены такие важнейшие показатели качества как водопоглощение, кажущаяся пористость, кажущаяся плотность, линейная усадка и прочность при сжатии. Все эти показатели отображены в таблице 2.

Таблица 2 - Технические характеристики образцов в зависимости от температуры

Температура, °С	Технические характеристики				
	Водопоглощение, %	Кажущаяся пористость, %	Кажущаяся плотность, г/см <sup>3</sup>	Линейная усадка, %	Прочность при сжатии, МПа
Глина Чибисовского месторождения					
950	12,74	20,10	1,97	3,96	28,26
1000	12,57	20,06	1,99	3,65	33,44
1050	10,15	19,83	2,05	3,87	42,03
1100	10,13	19,045	2,055	3,40	43,52
1150	7,91	16,98	2,145	3,77	51,33
Глина Лебединского месторождения					
950	11,40	22,8	2,0	4,08	26,44
1000	8,20	17,0	2,1	4,64	28,53
1050	6,90	14,4	2,1	4,14	30,57
1100	3,50	7,0	2,11	4,96	31,04
1150	3,49	6,98	2,15	4,47	43,54

На основании полученных данных были построены графики зависимостей качественных показателей глины от температуры обжига. Зависимость значений водопоглощения Чибисовской и Лебединской глины от температуры приведена на рис.1.

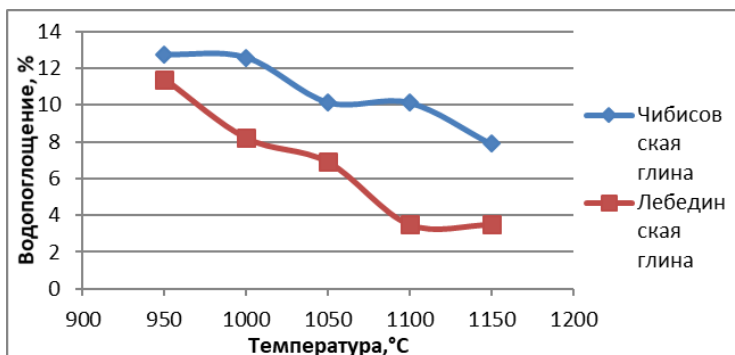


Рис. 1 Зависимость водопоглощения от температуры обжига

Водопоглощение - это одна из важнейших характеристик для клинкерного кирпича, которая влияет на его качество. Клинкерный кирпич характеризуется минимальным водопоглощением, что делает его более прочным и устойчивым к перепадам температур. Из графика на рис. 1 видно, что при увеличении температуры обжига водопоглощение Лебединской и Чибисовской глин снижается. Минимальные значения водопоглощения Лебединской глины более соответствуют требованиям стандарта, чем значения Чибисовской. По ГОСТ 530-2012 водопоглощение клинкерного кирпича должно составлять не более 6%.

Зависимость показателей плотности от температуры обжига образцов глин приведены на рис. 2.

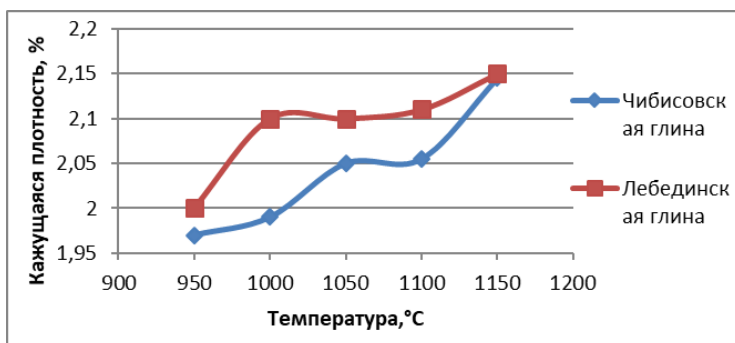


Рис. 2 Зависимость плотности от температуры

Из данного графика видно, что при увеличении температуры обжига образцы глин набирают плотность. Минимальные показатели



плотности образцов Чибисовской и Лебединской глины составляют свыше  $2,1 \text{ г/см}^3$ , что соответствует ГОСТ 530-2012.

Клинкерный кирпич отличается от других материалов высокой прочностью. Высокая прочность делает кирпич более износостойким и долговечным.

Зависимость прочности образцов глин от температуры обжига приведена на рис. 3.

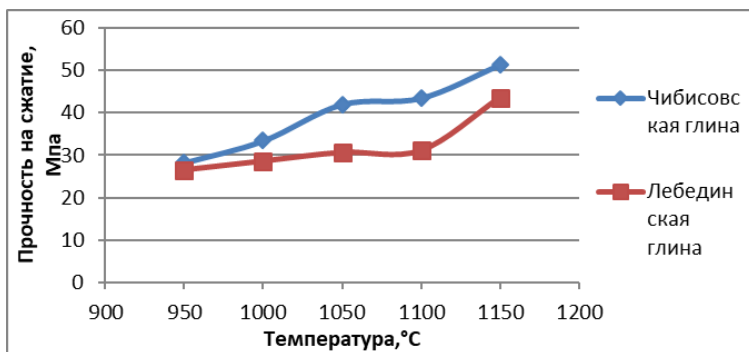


Рис. 3 Зависимость прочности на сжатие от температуры в обозначениях МПа

По данным эксперимента можно наблюдать, что с повышением температуры обжига показатели прочности при сжатии образцов Чибисовской и Лебединской глины возрастают.

Образцы Чибисовской и Лебединской глины по максимальным показателям прочности при температуре обжига  $1150 \text{ }^\circ\text{C}$  относятся к материалам марок М600 и М500 соответственно [7].

Таким образом, можно сделать вывод, что глины Чибисовского и Лебединского месторождений по технологическим показателям полностью соответствуют ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия». Как Чибисовская, так и Лебединская глины вполне подходят для применения их в качестве основного сырья в производстве клинкерного строительного кирпича.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виды клинкерной плитки под различные задачи. Преимущества клинкерной плитки. Сравнение керамогранит vs клинкер [Электронный ресурс] <https://istro.ru/blog/otdelochnie-materiali/id101283>

2. Глины. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс] <https://bigenc.ru/c/gliny-0092e6>

3. ГОСТ 32311-2012. Кирпич керамический клинкерный для мощения. Технические условия [Электронный ресурс] <https://internet-law.ru/gosts/gost/55771/>

4. ГОСТ 530-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия - docs.cntd.ru [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/1200100260>

5. Шакурова Н. В., Дороганов Е. А., Бедина В. И., Трепалина Ю. Н., Добринская О. А., Пиленко А. В. Возможность использования глин Саздинского месторождения в производстве керамического кирпича// Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020.№8. с.87 - 95.

6. Ивлева И.А., Беликова М.Е. Минералогический состав глин как один из основополагающих факторов морозостойкости теплоэффективной керамики//Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016.№8. с.185 - 188.

7. Клинкерный кирпич: особенности и производство | ГК Стройресурс | ГК Стройресурс [Электронный ресурс] <https://www.tk-stroyresurs.ru/about/more/blog/klinkernyy-kirpich-osobennosti-i-proizvodstvo/>

**УДК 666.3-127.2**

**Великородных А.Ю.**

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

## **ПЕНОДИАТОМИТОВЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВКВС ДИАТОМИТА**

Пенодиатомитовый легковес является одним из наиболее эффективных современных теплоизоляционных материалов, применяемых во многих сферах промышленности. Он широко используется как в строительстве, так и промышленности, где требуется легкий, обеспечивающий теплоизоляцию материал. Данное изделие имеет высокопористую структуру, с равномерным распределением в объеме пор различного диаметра [1].

В высокотемпературных тепловых агрегатах, такие как промышленные печи и т.п., должен поддерживаться определенный тепловой режим и потери тепла в окружающую среду должны быть минимизированы. Высокие теплоизоляционные свойства пенодиатомитового легковеса позволяют сохранять тепло и снижают

затраты на топливо до 70%, что положительно отражается на себестоимости продукции.

Кроме теплоизоляционных свойств пенодиатомитовые легковесы также обладают шумоизоляционными свойствами и огнеупорностью.

Также материал отличается достаточно низкой плотностью, что позволяет уменьшать нагрузку на фундамент и другие конструктивные элементы.

Пенодиатомитовый легковес характеризуется пожаробезопасностью и является экологически чистым с точки зрения экологической безопасности [2].

Производят пенодиатомитовые легковесы в соответствии с ГОСТ 2694 – 78 «Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые теплоизоляционные. Технические условия» [3].

Основным сырьевым компонентом для производства пенодиатомитовых легковесов применяется диатомит. Диатомит – это осадочная горная порода, состоящая из панцирей диатомовых водорослей.

В данной работе для изготовления образцов пенодиатомитовых легковесов использовалась ВКВС обожженного и карьерного диатомита Инзенского месторождения с влажностью 33,05% [4].

Химический состав Инзенского диатомита приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав диатомита Инзенского месторождения

Оксиды	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	п.п.п
Содержание, мас. %	82,10	5,35	2,26	0,36	0,76	1,34	0,27	7,26

Для получения ячеистой структуры легковесов в качестве пенообразователя использовалось поверхностно – активное вещество ПБ – 2000, с концентрацией 3%. Характеристики пенообразователя данной концентрации приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики используемого раствора ПАВ

Концентрация ПАВ, %	Объем пены, мл	Объем воды через 30 мин, мл	Коэффициент устойчивости пены	Коэффициент выхода пены	Плотность пены $\rho_p$ , г/см <sup>3</sup>
3	325	10,5	0,475	16,25	0,06

Пенометод позволяет получить оптимальную структуру пор, обеспечивающую улучшенные теплоизоляционные и звукоизоляционные свойства, а также физико-химические свойства пенодиатомитовых легковесных материалов [5].

В качестве отвердителя было использовано шлакощелочное вяжущее на основе металлургического шлака ОЭМК и натриевого жидкого стекла. В результате были изготовлены образцы с различной долей шлакощелочного вяжущего 3%, 5%, 7% и 10% [6].

Образцы пенодиатомитовых легковесов были сформованы методом литья в металлические формы, размером 70x70x70 мм. После этого подвергались сушке на воздухе и в сушильном шкафу при температуре 105°C. Далее производился обжиг образцов при температуре 900°C.

В ходе эксперимента были определены следующие показатели образцов пенодиатомитовых легковесов, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-механические характеристика пенодиатомитового легковеса

№	Содержание шлакощелочного вяжущего, %	Линейная усадка, %	Пористость Открытая, П <sub>к</sub> , %	Кажущаяся плотность $\gamma_{\text{каж}}$ , г/см <sup>3</sup>	Водопоглощение W, %	Предел прочности при сжатии и $\sigma_{\text{сж}}$ , МПа	Коэффициент конструктивного качества, А
Карьерный диатомит							
1	3	8,72	78,14	0,60	119,80	4,5	12,5
2		8,96	75,63	0,58	113,45	4,3	12,5
3		9,13	76,43	0,60	120,31	4,4	12,0
4	5	9,2	69,46	0,63	111,62	4,5	11,3
5		7,89	79,44	0,60	120,08	4,4	12,1
6		8,51	68,48	0,58	96,85	4,1	12,0
7	7	6,37	70,39	0,58	121,95	4,6	13,6
8		8,51	66,35	0,59	84,93	5,2	14,7
9		7,45	63,09	0,59	80,89	5,1	14,2
10	10	7,10	76,61	0,62	118,30	5,0	12,9
11		7,59	71,04	0,61	95,69	5,3	13,9

1							13,3
2		10,36	68,65	0,63	94,68	5,2	
Обожженный диатомит							
1	3	1,48	70,05	0,39	112,51	3,6	23,1
2		2,26	70,51	0,40	97,93	3,7	22,4
3		2,75	67,41	0,39	97,02	3,7	23,6
4	5	1,87	69,62	0,39	148,43	3,6	23,3
5		1,88	69,85	0,37	95,58	3,7	27,4
6		1,93	67,97	0,35	102,58	3,9	30,3
7	7	1,52	69,33	0,36	95,36	4,2	32,3
8		2,03	52,01	0,43	75,09	4,4	23,3
9		1,21	66,63	0,39	97,45	4,2	28,2
10	10	1,64	70,20	0,45	110,59	4,5	22,3
11		1,39	65,44	0,44	103,38	4,5	23,3
12		2,53	64,05	0,44	86,15	4,7	23,6

Образцы пенодиатомитовых легковесов из карьерного и обожженного диатомита в первую очередь существенно различаются значениями линейной усадки. Образцы на основе обожженного диатомита имеют гораздо меньшую усадку, чем образцы карьерного.

Исходя из анализа экспериментальных значений, следует, что прочность образцов увеличивается с повышением содержания шлакощелочного вяжущего от 3 до 10%. Наиболее высокая прочность образцов и карьерного и обожженного диатомита достигается при содержании шлакощелочного вяжущего в количестве 10%.

Пористость образцов находится в пределах 45 – 85%, а коэффициент конструктивного качества 12 - 32 и поэтому их можно отнести к легковесным высокоэффективным и суперматериалам.

Для пенодиатомитового легковеса характерна замкнутая пористость с тончайшими и плотными межпоровыми перегородками, при этом мелкие поры деформированы в многогранники [7]. Таким образом, полученные изделия имеют сотовую структуру пор (Рис. 1).



Рис. 1 Структура пор пенодиатомитового легковеса

Кажущаяся плотность образцов обожженного диатомита ниже, чем плотность образцов карьерного. Но при этом значения плотности образцов, как карьерного диатомита, так и обожженного имеет достаточно низкие значения.

Исходя из экспериментальных данных, можно сделать вывод, что показатели образцов пенодиатомитового легковеса на основе ВКВС карьерного и обожженного диатомита соответствуют заявленным требованиям ГОСТ 2694 – 78 [3]. Данные теплоизоляционные материалы являются наиболее эффективными как в строительстве, так и в промышленности для футеровки тепловых агрегатов и трубопроводов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виды оптимальных структур теплоизоляционных материалов / Изоляционные материалы / Стройматериалы / Публикации / Стройм Домик [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://stroimdomik.ru/article/153-stroimaterialy-izolyacionnye-materialy/vidy-optimalnyx-struktur-teploizolyacionnyx-materialov>
2. Пенодиатомитовый кирпич: свойства, характеристики, отличия от других материалов — Rmnt.ru [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.rmnt.ru/story/wall/penodiatomitovyy-kirpich-svoystva-karakteristiki-otlichija-ot-drugix-m.899949/>
3. ГОСТ 2694-78 Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые теплоизоляционные. Технические условия [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9056513>
4. Гончаров Ю.И., Перетокина Н.А., Ткаченко А.М., Фатеев В.А. Керамика на основе опаловидных пород – диатомита // Строительные материалы, 2006. № 9. – С. 72-73.

5. 4. 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.

6. Евтушенко Е.И., Перетокина Н.А., Череватова А.В., Агеева М.С. Управление структурообразованием шлакощелочных вяжущих при получении теплоизоляционных керамобетонов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2007. №2. с. 64-66.

7. Оптимальная структура теплоизоляционных материалов. - Технология изоляционных и строительных материалов и изделий [Электронный ресурс]  
Режим доступа: [https://studref.com/687102/stroitelstvo/optimalnaya\\_struktura\\_teploizolyatsionnyh\\_materialov](https://studref.com/687102/stroitelstvo/optimalnaya_struktura_teploizolyatsionnyh_materialov)

**УДК 666.946.14**

**Горяева Ю.Ю.**

*Научный руководитель: Гребенюк А.А., канд. техн. наук, доц.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## **ПОЛУЧЕНИЕ АЛЮМОФЕРРИТНЫХ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

Повышение качества вяжущих материалов, сопровождающееся уменьшением энергетических затрат, является основной целью производства данной отрасли. На протяжении долгого времени ведется разработки составов, благодаря которым будут снижаться энергозатраты в производственном цикле, но вяжущее при этом будет сохранять необходимые эксплуатационные свойства. Но эта цель труднодостижима, поэтому изучение разных составов до сих пор актуально.

Одним из направлений для снижения энергозатрат может выступать использование техногенных отходов, применение которых представляет собой пользу для производства и экологии. Их могут использовать как компонент сырьевой смеси или как частичная замена топлива, что снижает себестоимость получаемого клинкера [1-3].

Внедрение энергосберегающих строительных материалов, произведенных по низкообжиговой и безобжиговой технологиям с использованием природного минерального и техногенного сырья, является очень актуальным [4]. Применение безобжиговых и

низкообжиговых материалов снижает себестоимость продукта, а также сохраняет качество конечного изделия.

Исходя из вышесказанного целью данной работы является получение специального вяжущего состава с использованием алюмоферритного клинкера, снижающего энергозатраты при производстве и обеспечивающего требуемые характеристики при твердении и наборе прочности.

Для получения алюмоферритного клинкера были использованы следующие материалы: мел и бокситы Белгородского региона, медеплавильный шлак АО «Карабашмедь» и цемент ЗАО «Осколцемент» ЦЕМ 0 42,5 Н. Химический состав используемых материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов, %

Материалы	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	Прочие	ППП
Мел	53,88	1,18	0,40	0,12	0,21	0,01	0,73	0,31	43,16
Бокситы	1,13	23,26	46,54	6,42	0,51	0,24	0,60	3,16	18,15
Шлак	15,33	26,28	3,99	35,10	2,97	0,58	1,48	1,62	12,65
Цемент	65,09	21,08	5,01	4,16	0,67	2,37	0,54	0,03	1,05

В соответствии с проведенным рентгенофазовым анализом было установлено, что мел представлен кальцитом (CaCO<sub>3</sub>) и кварцем (SiO<sub>2</sub>), а бокситы - бемитом (AlO(OH)), гиббситом (Al(OH)<sub>3</sub>) и каолинитом (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> • 2SiO<sub>2</sub> • 2H<sub>2</sub>O). Шлак имеет в своем составе гематит (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), кварц (SiO<sub>2</sub>), а цемент представлен четырьмя основными клинкерными минералами (C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>3</sub>A, C<sub>4</sub>AF) и гипсом (CaSO<sub>4</sub> • 2H<sub>2</sub>O).

Разработка составов алюмоферритного клинкера производилась на основе алюминатного (Ам) и глиноземистого модулей (р), значения которых принимались согласно диаграмме состояния. Химический состав сырьевых смесей и клинкеров представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав полученных клинкеров и сырьевых смесей, %

Название	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	ППП
Первый состав (Ам = 0,549; р = 2,0)							
Сырьевая смесь	11,01	13,84	6,92	35,53	0,70	0,16	31,83
Клинкер	16,16	20,31	10,15	52,13	1,03	0,23	-
Второй состав (Ам = 0,850; р = 2,4)							
Сырьевая смесь	10,36	14,03	5,85	36,38	0,61	0,14	32,63
Клинкер	15,38	20,83	8,68	53,99	0,91	0,21	-



Третий состав ( $A_m = 1,200$ ; $p = 3,2$ )							
Сырьевая смесь	9,46	14,19	4,43	37,58	0,50	0,12	33,72
Клинкер	14,27	21,47	6,69	56,70	0,76	0,18	-
Четвертый состав ( $A_m = 1,400$ ; $p = 5,0$ )							
Сырьевая смесь	8,68	14,77	2,95	38,44	0,38	0,10	34,67
Клинкер	13,29	22,61	4,52	58,85	0,58	0,15	-

Определение фазового состава клинкеров после протекания высокообжигового процесса методом порошковой дифракции показало различный качественный состав и количественное соотношение фаз (Рис. 1).

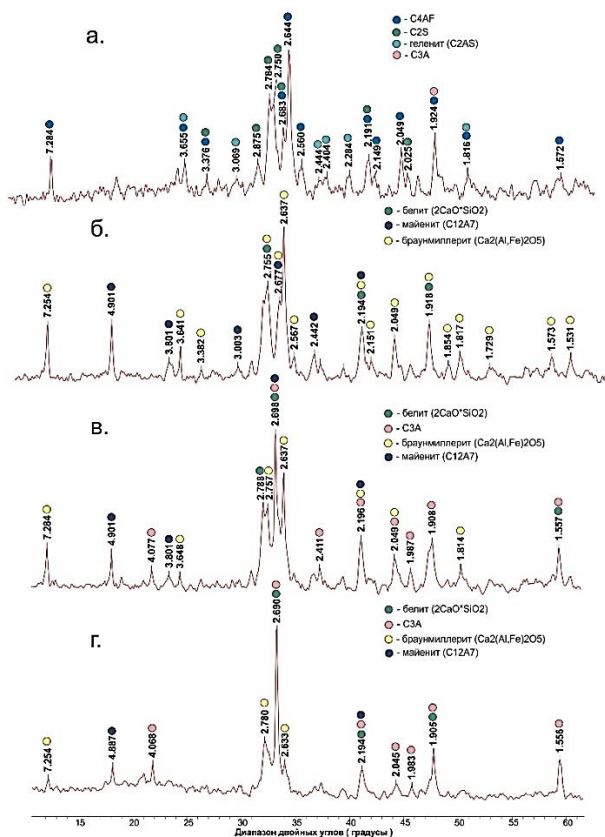


Рис. 1 а) первый состав, б) второй состав, в) третий состав, г) четвертый состав

В первом составе алюмоферритного клинкера (Рис. 1 (а)) преобладает браунмиллерит ( $C_4AF$ ). Во втором составе отчетливо видны два основных минерала: майенит ( $C_{12}A_7$ ) и браунмиллерит ( $C_4AF$ ). Преобладающими фазами в третьем составе стали трехкальциевый алюминат ( $C_3A$ ) и браунмиллерит ( $C_4AF$ ). В четвертом составе в большом количестве получились только трехкальциевый алюминат ( $C_3A$ ) и майенит ( $C_{12}A_7$ ).

Исходя из полученных составов клинкеров можно сделать вывод, что получившийся материал из состава с модулями  $A_m = 0,549$  и  $p = 2,0$  будет обладать средними характеристиками прочности и активности, но иметь повышенную водо- и коррозионную стойкость. Клинкер с модулями  $A_m = 0,850$  и  $p = 2,4$  из-за майенита будет быстро взаимодействовать с водой и быстро схватываться [5]. Трехкальциевый алюминат в клинкере с алюминатным модулем 1,2 и глиноземистым 3,2 также будет быстро гидратировать. Последний состав ( $A_m = 1,4$ ;  $p = 5,0$ ) из-за наличия только алюминатов будет быстро гидратировать и схватываться.

В результате исследования минералогического состава алюмоферритных клинкеров целесообразно использовать в качестве компонента вяжущей смеси второй и третий составы, поскольку только в них наблюдалось оптимальное количество алюминатной и алюмоферритной фазы для быстрого схватывания и большой прочности в отдаленные сроки твердения.

Ввод 10 % алюмоферритных клинкеров в портландцемент показал изменение прочности при сжатии образцов-кубиков в начальный период твердения (Рис. 2).

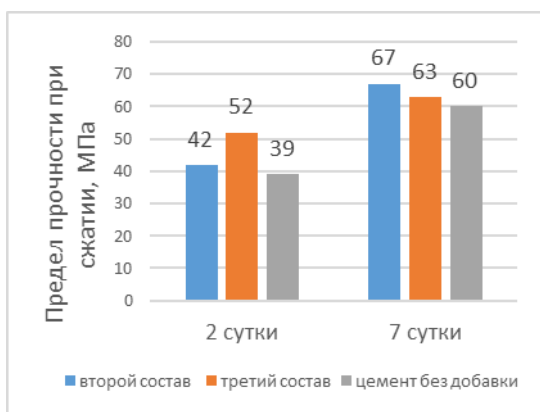


Рис. 2 Предел прочности при сжатии образцов

Испытания на прочность показали, что за двое суток наибольшую прочность набрал цемент с добавлением третьего алюмоферритного состава, а наименьшую – цемент без добавки. На 7 сутки самая большая прочность получилась у цемента со вторым составом, а самая маленькая – у обычного цемента.

Исходя из полученных показателей прочности можно рекомендовать применение алюмоферритных клинкеров в данном количестве в цементную композицию.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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 (12). – С. 50-58.

2. Козубская Т.Г. Использование техногенных отходов в производстве строительных материалов // Строительные материалы. 2002. № 2. С. 10.

3. Капустин Ф.Л. Использование медеплавильного шлака в производстве цементов общестроительного назначения / Ф.Л. Капустин, М.А. Афанасьева // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2013. – № 3 (30). – С. 52-58.

4. Тотурбиев Б.Д. Низкообжиговая, энергосберегающая, экологически безопасная технология производства керамических материалов на основе глинистых сланцев / Б.Д. Тотурбиев, С.А. Мамаев, А.Б. Тотурбиев // Геология и геофизика Юга России. – 2022. – Том 12 №1. – С. 148-161.

5. Горшков В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: Учеб. Пособие. / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев // М.: Высш. Школа. – 1981. – 335 с.

*УДК 691.542*

*Гостев Н.С., Лопарев А.С.*

*Научный руководитель: Коновалов В.М., канд. техн. наук, доц.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ГИПСА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА

Портландцемент – гидравлическое вяжущее, состоящее из портландцементного клинкера и добавки-регулятора сроков

схватывания. Эта добавка преимущественно представлена различными формами сульфата кальция, как природного, так и техногенного происхождения. Без неё схватывание цемента происходит настолько быстро, что его применение в строительстве становится невозможным. Гипс также интенсифицирует процессы гидратации клинкерных минералов, изменяет водоотделение, меняет состав гидратных новообразований. В промышленности остро стоит проблема использования гипсосодержащих техногенных отходов для получения цемента. Ввиду химической, кристаллической, физической неоднородности этих веществ, их влияние на цементы крайне разнообразно. Несмотря на эти сложности, строительная индустрия в перспективе способна использовать эти отходы, что решает проблему их утилизации.

Строительная индустрия позволяет повторно использовать техногенные отходы, благодаря чему возможна экономия минеральных полезных ископаемых [1].

В природе гипс встречается в виде двугидрата, полугидрата и в форме ангидрита. Частично или полностью гипсовый камень и ангидрит может быть заменён на гипсосодержащие отходы различных химических производств, например, фосфогипс, борогипс, фторогипс, титаногипс и др. [2,3,4].

Фосфогипс получают при сернокислотной переработке фосфатов в фосфорную кислоту и фосфорные удобрения. Производство фосфогипса в России многократно превышает производство других гипсосодержащих техногенных отходов (титаногипса, сульфогипса, фторогипса и борогипса), для его хранения выделяются значительные земельные ресурсы [5]. Существует несколько способов утилизации фосфогипса: в сельском хозяйстве, в дорожном строительстве, в цементном производстве и целлюлозно-бумажной промышленности [6]. Фторогипс является отходом производства плавиковой кислоты из плавикового шпата; состоит из сульфата кальция (80—85%) и фторида кальция (2,0—2,5%). Борогипс – отход производства бора, состоящий из двуводного гипса (до 76%) и кремнезема (до 21%). Эти добавки возможно использование в качестве регулятора сроков схватывания и добавки к бетону. Отходы химической промышленности еще не нашли достаточно широкого применения в производстве строительных материалов ввиду их химической неоднородности, «нетехнологичности» использования и других факторов.

В работе исследуется возможность использования техногенного гипса Новотроицкого содового завода в производстве цемента.

В качестве сырьевых материалов использовались портландцементный клинкер Новотроицкого цементного завода, двухводный гипс Дубенского месторождения и техногенный гипс Новотроицкого содового завода (сокр. техногипс НСЗ). Химический состав сырьевых материалов представлен в табл. 1.

Таблица 1 – Оксидный состав сырьевых материалов

Оксид	Процентное содержание, %		
	В клинкере	В дубенском гипсе	В гипсе НСЗ
CaO	60,72	33,10	36,99
SiO <sub>2</sub>	19,73	7,43	0,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,40	2,46	0,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,26	0,77	0,05
R <sub>2</sub> O	0,81	0,31	0,74
SO <sub>3</sub>	0,55	32,06	36,93
ППП	5,6	21	24,3
Прочее	4,93	2,87	0,83

Рентгенофазовый анализ показал, что клинкер состоит из алита, белита, алюминатов и алюмоферритов кальция. Рентгено-фазовый и дифференциально-термический анализ показал, что Дубенский гипс состоит из двухводного сульфата кальция и примесей кремнезёма, а техногипс НСЗ состоит из двухводного и полуводного сульфата кальция, ангидрита и примесей кремнезёма.

Для определения интенсивности образования этtringита (минерала, формирующего прочность цементного камня в начальные сроки твердения) проводилось исследование кинетики растворения гипсовых материалов в воде. Для сравнения были взяты пробы Дубенского гипса, техногипса и природного ангидрита. На рис. 1 представлена зависимость концентрации SO<sub>3</sub> в растворе от времени растворения.

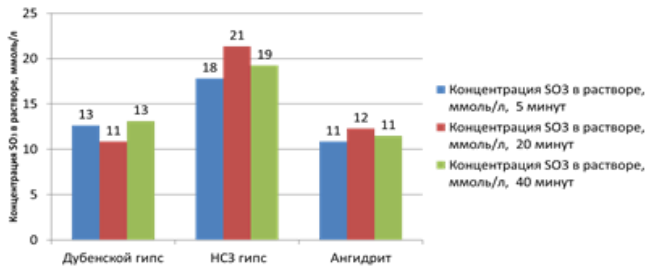


Рис. 1 Диаграмма зависимости концентрации SO<sub>3</sub> в водном растворе от времени растворения

Средняя равновесная концентрация  $SO_3$  в растворе достигалась на пятую минуту растворения и составила для дубенского гипса 12,3 ммоль/л, для НСЗ гипса 19,3 ммоль/л, для ангидрита 11,3 ммоль/л. Повышенная, по сравнению с другими пробами, степень растворения техногипса обусловлена наличием в его составе полугидрата сульфата кальция.

Для исследования влияние техногипса на прочностные показатели цемента было подготовлено три сырьевых смеси, состав которых представлен в табл. 2 (с содержанием  $SO_3 - 3,61 \pm 0,07\%$ ).

Таблица 2 – Состав сырьевых смесей

	Клинкер, %	Дубенской гипс, %	НСЗ гипс, %
Смесь 1	94	6	0
Смесь 2	95	0	5
Смесь 3	94,5	2,75	2,75

Испытание цемента на прочность при сжатии проводилось в малых образцах из цементного теста с водоцементным отношением  $0,273 \pm 0,004$ . Средние прочностные показатели цемента на сжатие представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Средние прочностные показатели цемента на сжатие

Цемент, №	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут		
	2	7	28
1	47,10	58,14	78,09
2	48,31	61,56	79,16
3	42,38	64,32	76,45

Прочностные характеристики цемента с техногипсом обеспечили некоторое повышение прочности в сравнении с контрольным образцом. Это указывает на то, что добавка НСЗ положительно влияет на гидратацию и формирование структуры цементного камня.

Дифрактограммы продуктов гидратации на 2 сутки твердения представлены на рис. 2.

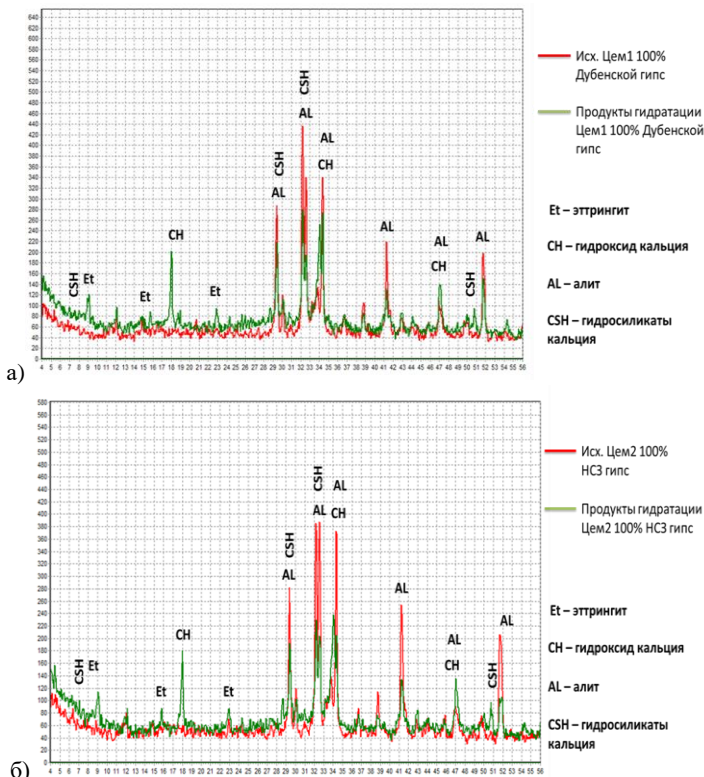


Рис. 2 Дифрактограммы продуктов гидратации цемента 2-ые сутки твердения в сравнении с исходным цементом:  
 а – с Дубенским гипсом, б – с гипсом НС3

На рентгенограммах рис. 2 идентифицированы гидросиликаты кальция, этtringит, гидроксид кальция и не прогидратировавший алит. По соотношению интенсивности характеристических отражений зафиксирована ускоренная гидратация алита и ускоренное образование этtringита в пробе с гипсом НС3.

В образцах с гипсом НС3 происходит некоторое увеличение прочностных показателей на вторые (на 2%), седьмые (на 7%) и двадцать восьмые сутки (на 1,3%) твердения. Анализ дифрактограмм показал, что на вторые сутки твердения для образцов, содержащих техногипс, характерно ускорение гидратации силикатных фаз и ускоренное образование этtringита. Можно сделать вывод, что технический гипс оказывает положительное влияние на фазовый состав

и набор прочности цементного камня и может быть использован вместо природного гипса.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калинина А.Э., Баракова А.С. Анализ мирового опыта обращения с бытовыми отходами / А.Э. Калинина, А.С. Баракова // Вестник ВолГУ. Серия 3: Экономика. Экология. 2018. №3. С. 1–6.
2. Islam G.M.S., Chowdhury F.H., Raihan, M.T., Amit S.K.S., Islam M.R. Effect of Phosphogypsum on the Properties of Portland Cement // Procedia Engineering. 2017. Vol. 171. Pp. 744–751.
3. Huang Y., Qian J., Lu L., Zhang W., Wang S., Wang W., Cheng X. Phosphogypsum as a component of calcium sulfoaluminate cement: Hazardous elements immobilization, radioactivity and performances // Journal of Cleaner Production. 2020. Vol. 2481. 119287.
4. Sevim U.K., Tumen Y. Strength and fresh properties of borogypsum concrete // Construction and Building Materials. 2013. Vol. 48. Pp. 342–347.
5. Локшин Э.П., Тареева О.А., Елизарова И.Р. // О комплексной переработке фосфогипса. Журнал прикладной химии. 2013. Т. 86. Вып. 4 С 497-503.
6. Алфимова Н.И., Пириева С.Ю., Елистраткин М.Ю., Кожухова Н.И., Титаренко А.А. Обзорный анализ способов получения вяжущих из гипсосодержащих отходов промышленных производств // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 11. С. 8–23. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-11-8-23

**УДК 666.1.002.68**

*Гусейнова В.В., Линец В.В., Пилавиду Е.О.*

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

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОДУКТОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ В ПОРИСТОМ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ

Основной идеей создания пористого стеклокристаллического материала, обладающего высокими физико-механическими свойствами, являлось максимально возможное участие при его производстве вторичных продуктов - отходов минеральной ваты и стеклобоя.



Отходы производства минеральной ваты (ОМВ) – это теплоизоляционный материал, изготавливаемый из горных пород, обработанных при высоких температурах. Этот материал широко применяется в строительстве для утепления стен, кровель, полов, труб и вентиляционных систем [1]. Но при ее производстве возникают отходы, включающие в своем составе «корольки» (микрошарики) и грубые отходы штапельных волокон, которые повторно не используются и подлежат захоронению на полигонах.

Стеклобой является одним из самых распространенных отходов в человеческой жизнедеятельности. Опыт вторичного использования образующихся отходов стекла доказывает, что он может быть использован повторно, но в сфере использования стекла не всегда это возможно, поэтому отходы стекольного боя (ОСБ) также в больших количествах захораниваются на полигонах ТКО. [2]

Исследования проводились в системе материалов «отходы минеральной ваты – стеклобой – перлит», где перлит также является отходом, полученным после отсева при получении вспученного перлитового песка.

Отсев вспученного перлитового песка (ОВПП) выполняет роль материала, имеющего температуру пластической деформации, располагаемую между СБ и ОМВ.

Для работы были подготовлены экспериментальные составы шихт (табл.1.) с расчетным химическим составом каждого состава (табл.2, табл.3).

Подготовка сырьевых смесей проводилась следующим образом: отход минеральной ваты был тщательно измельчен и приготовлен в суспензию и, так как остальные компоненты в детальной подготовке не нуждаются, сразу производилось отвешивание компонентов по заданному рецепту. После чего смесь подвергалась жидкофазному измельчению и усреднению в планетарной мельнице САНД-1 с получением суспензии. [3]

Таблица 1 – Экспериментальные составы шихт

Состав	ОМВ	ОВПП	ОСБ	Газообр. %
В9	165	120	15	0,05
В10	165	120	15	0,025
В11	165	105	30	0,1
В12	165	105	30	0,15
В13	165	120	15	0,1

Таблица 2 – Расчетный химический состав В9, В10, В13

В9,В10,В13	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
ОМВ	62,91	15,72	9,35	4,85	2,94	2,16	0,74
ОСБ	10,8	0,27	1,2	0,019	0,52	0,94	2,1
ОВПП	84	15,6	1,44	1,15	0,96	3,84	4,2

Таблица 3 – Расчетный химический состав В11, В12

В11,В12	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
ОМВ	62,91	15,72	9,35	4,85	2,94	2,16	0,74
ОСБ	21,6	0,54	2,4	0,039	1,05	0,17	4,2
ОВПП	73,5	13,65	1,26	0,73	0,84	3,36	3,675

Из данной суспензии подготавливались образцы, в виде небольших таблеток (рис.1) и отправлялись в сушильный шкаф, при температуре 100 °С до полного высыхания.



Рис. 1 Высушенные образцы

Высушенные образцы подверглись температурной обработке, при температурах 1000°, 1100°, 1150° и 1200 °С. Обжиг проводился в муфельной печи лабораторного типа, фирмы «Термокерамика», с автоматическим регулированием температуры контроллером «Термолукс010». Максимальная рабочая температура в камере печи 1500°С; Скорость нагрева 2,5...100 град/час и максимальной выдержкой 6 часов. Программа задается в координатах Время-температура (рис.2).

Как видно из представленных фотографий, после термической обработки образцы приобрели различные оттенки, чем температура выше, тем более интенсивная окраска образцов. При температуре 1200 °С образцы потеряли свою форму и растеклись. А при температуре 1150 °С на поверхности видны небольшие поры, в отличие от образцов подвергшихся обжигу при 1000 и 1100 °С. Поэтому, при дальнейшей работе над составами, температурную обработку необходимо проводить при температуре не меньше 1150 °С, но и не выше температуры 1200 °С.

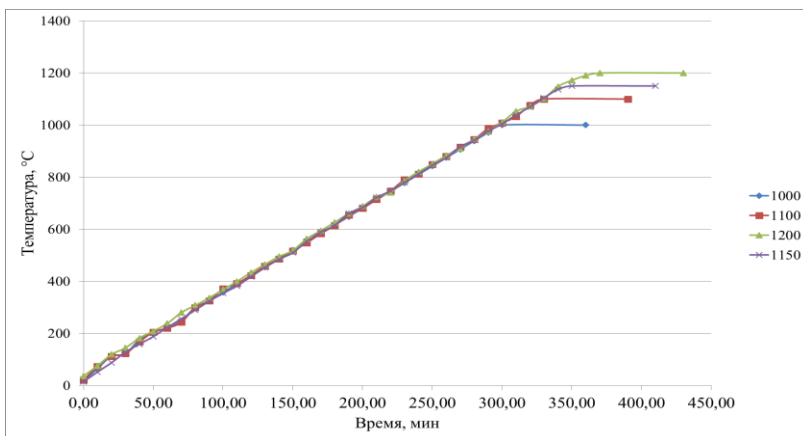


Рис. 2 График температурной обработки экспериментальных образцов

Таблица 4 – Сравнение поверхности и цвета образцов, после термической обработки

Температура, °C	1000	1100	1150	1200
Образец				

Для идентификации фазового состава использовали рентгенофазовый анализ (РФА), который традиционно применяется для определения фазового состава образца. Он позволяет идентифицировать кристаллические фазы, определить их содержание и соотношение в смеси кристаллов, а также определить параметры кристаллической решетки и оценить качество кристаллов [4,5].

Идентификация кристаллических фаз проводилась на образцах, подвергшихся температурной обработке при температурах 1000°C и 1150°C. Целью РФА являлось установление, как температуры способствуют получению определённой кристаллической фазы, поскольку температуры изменяют пористость и объёмную массу.

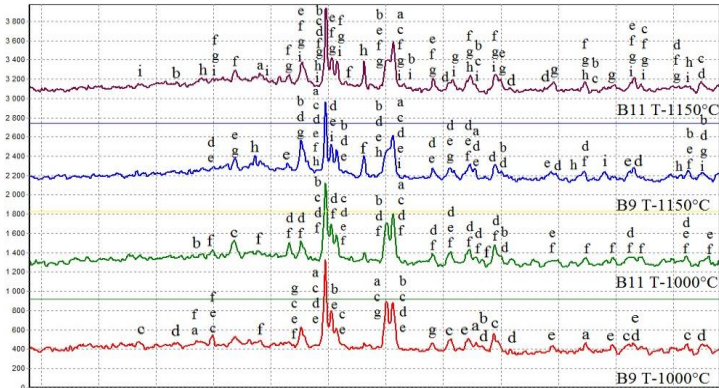


Рис. 3 Рентгенофазовый анализ образцов состава В9 и В11 при температуре 1000 и 1150 °С, с диапазоном съёмки 4...64°

На рисунке 3, отчётливо видны несколько больших пиков в диапазонах двойного угла 20-45°, их интенсивность следующая:

- В9 Т-1000: 27.650-235; 29.800-416; 30.250-299; 30.700-232; 35.050-336; 35.600-330; 44.400-210;
- В11 Т-1000: 21.800-230; 26.600-221; 27.600-229; 29.800-426; 30.250-293; 30.700-251; 35.100-299; 35.650-333; 44.450-212;
- В9 Т-1150: 21.850-206; 23.600-216; 27.600-277; 29.750-425; 30.250-261; 30.700 -241; 33.100-216; 35.600-294;
- В11 Т-1150: 21.900-206; 27.750-236; 29.800-448; 30.750-241; 33.100-241; 35.250-247; 35.650-318;

При детальном рассмотрении анализа, было определено преобладание следующих минералов:

- В9 Т-1000: а-Магнетит; б-Магнезиоферрит; с-Геденбергит магнезиальный; d-Силикат натрия; е-Субкальциевый диопсид; f-Алюмосиликат натрия; g-Силикат магния;
- В11 Т-1000: а-Синтетический гематит; б-Магнетит; с-Алюминаты кальция; d-Диопсид; е-Стишовит синтетический; f-Авгит;
- В9 Т-1150: а-Магнетит; б-Силикат магния; с-Алюминаты кальция; d-Авгит; е-Диопсид; f-Феррат калия; g-Диоксид кремния; h-Силикат натрия; i-Магнезиоферрит;
- В11 Т-1150: а-Синтетический гематит; б-Магнетит; с-Магнезиоферрит; d-Стишовит; е-Силикат магния; f-Диопсид; g-Авгит; h-Феррат калия; i-Акмит.

В заключение следует сказать, что отходы минеральной ваты, неиспользуемого стекольного боя и отсева перлита могут превратиться

в ценный сырьевой ресурс при правильном использовании. Это не только поможет сократить количество отходов, но и позволит создать новые ценные материалы, которые могут использоваться в различных областях промышленности. Но для этого следует активно разрабатывать способы и технологические решения для повышения эффективности их использования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Онищук, В. И. Комплексная оценка пригодности сырья для производства минеральной ваты / В. И. Онищук, Н. Ф. Жерновая, А. М. Болгов // Техника и технология силикатов. – 2010. – Т. 17, №4. – С 5-10.
2. Онищук, В. И. проблемы рециклирования отходов стекла / В. И. Онищук, Е. В. Коробанова // Актуальные вопросы охраны окружающей среды: Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 48-55.
3. Стекольные суспензии как основа для получения пористых материалов / В. И. Онищук, В. А. Дороганов, А. С. Гливуку, Е. В. Коробанова // Научно-технические инновации: сборник докладов международной научно-практической конференции – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2016. – С. 309-314.
4. Андреев О.В., Христов Н.А., Кертман А.В. Рентгенография - Тюмень: ТюмГУ, 1990. 114 с.
5. Облицовочные и декоративные материалы на основе стеклянных бытовых отходов/ Н. И. Бондаренко, Д. О. Бондаренко, М. А. Бондаренко, Е. А. Дороганов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2019. - № 11. – С. 79-85.

*УДК 666.94*

*Дреер Ю.И., Кислов В.С., Савельева М.С.  
Научный руководитель: Новоселов А.Г., канд. техн. наук, доц.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СИНТЕЗА СИЛИКАТОВ КАЛЬЦИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ МИНЕРАЛИЗАТОРА

Получение клинкера – сложный технологический процесс, включающий в себя как физические изменения веществ, так и

химические реакции между составляющими сырьевой смеси. Сложность заключается в том, что многокомпонентные сырьевые смеси, приготовленные из сырьевых материалов, техногенных отходов промышленности и различных добавок, содержащих большое количество примесей, характеризуются многоступенчатыми взаимодействиями между компонентами и параллельным протеканием процессов синтеза различных минералов. Это вызывает необходимость проведения исследований с целью разработки общих теоретических положений, позволяющих спрогнозировать протекание химических реакций в процессе получения продуктов под влиянием примесных соединений и элементов [1].

Наибольший интерес вызывают процессы синтеза в силикатных системах, а если конкретнее – получение двух- и трехкальциевых силикатов. Суммарное содержание твердых растворов на основе этих минералов в клинкере колеблется от 60 до 80%. Значимость данных минералов в составе портландцементного клинкера трудно переоценить, так как именно они придают прочность цементному камню: трехкальциевый силикат – на ранних сроках твердения, а двухкальциевый силикат обеспечивает увеличение прочностных характеристик на более поздних сроках [2].

Из литературных данных известно, что получение чистого  $C_3S$  является очень энергозатратным и долгим процессом – обжиг его осуществляется при температуре около  $1600^{\circ}C$  с многочасовой выдержкой. Однако синтез алита – твердого раствора на основе трехкальциевого силиката, в состав которого также входят ионы алюминия и магния, происходит при меньшей температуре, благодаря наличию жидкой фазы [3].

Решение проблемы медленного протекания реакций образования силикатов кальция много лет толкает ученых на научные изыскания наиболее выгодных путей интенсификации данных процессов, которые приводят к идее использования минерализаторов [4,5].

Минерализаторами называют вещества, которые внесенные в сырьевую смесь в небольшом количестве, позволяют интенсифицировать процесс обжига, ускорить твердофазовые реакции, снизить температуру появления расплава и его вязкость. В процессе многочисленных исследований установлено, что такие вещества, особенно фторсодержащие, оказывают значительное влияние на процессы синтеза и формирования кальциевых силикатов, особенно на начальных стадиях [6,7].

С целью оценки роли фторсодержащих добавок в высокотемпературном синтезе соединений силикатных систем

составлялись сырьевые смеси из химических реактивов карбоната кальция и оксида кремния, рассчитанные на получение трехкальциевого силиката с введением фторида кальция в сырьевую смесь сверх 100% в количестве 1% по содержанию иона фтора. В качестве контрольного образца была приготовлена сырьевая смесь из тех же компонентов, но без добавления фторида кальция.

Результаты комплексного термического анализа (рис. 1), проведенного на современном приборе синхронного термического анализа STA 449 F5 немецкой фирмы NETZSCH в среде инертного газа (аргона), позволяют оценить протекание процесса фазообразования. При нагревании смесей до температуры 500°C кривые, отображающие изменения, протекающие в сырьевых смесях, характеризуются идентичным поведением. С дальнейшим увеличением температуры в обеих смесях происходит полиморфный переход  $\beta$ -кварца в  $\alpha$ -кварц, что отображается на рисунке четко выраженным эндотермическим эффектом при температуре 574°C.

Сырьевая смесь без добавления  $\text{CaF}_2$  отличается четким эндотермическим эффектом, характерным для процесса декарбонизации карбоната кальция, протекающим в интервале температур 700-840°C с вершиной при 818°C. При дальнейшем увеличении температуры на кривой отражаются два экзотермических эффекта с максимумом при 1434° и 1446°C, характерные для образования двухкальциевого силиката  $\text{C}_2\text{S}$ . В высокотемпературной области кривой ДСК не фиксируются эндотермические эффекты, что позволяет судить об отсутствии расплава в данной системе. Это также подтверждается визуальной оценкой продуктов обжига. Продукт обжига смеси без добавления минерализатора представляет собой тонкодисперсный порошкообразный сыпучий материал, тогда как при рассмотрении продукта обжига смеси с добавлением фторида кальция наблюдается присутствие ограниченного количества расплава, что проявляется в уплотнении материала и объединении его частиц.

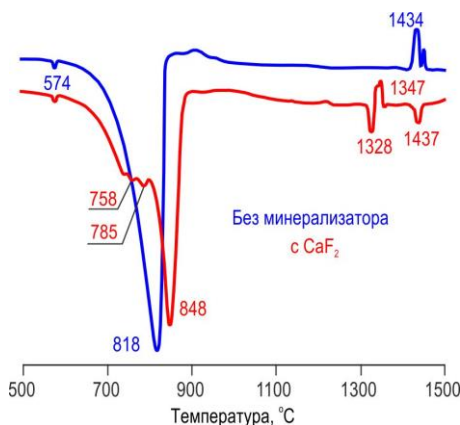


Рис. 1 Кривые ДСК сырьевых смесей

Сырьевая смесь, содержащая в своем составе  $\text{CaF}_2$ , отличается широким температурным интервалом, соответствующим процессу декарбонизации, а именно  $700\text{--}880^\circ\text{C}$ . При этом стоит отметить, что кривая в данном температурном интервале имеет несколько эффектов при  $758^\circ$  и  $785^\circ\text{C}$ , вершина фиксируется при температуре  $847^\circ\text{C}$ . Высокотемпературная область кривой ДСК характеризуется несколькими термическими эффектами.

В температурном интервале  $1100\text{--}1200^\circ\text{C}$  фиксируется пара незначительных экзотермических эффектов, которые позволяют предположить образование незначительного количества двухкальциевого силиката. Это объясняется появлением в системе точечных новообразований промежуточных соединений сложного состава, имеющих узкий температурный интервал существования, которые плавятся при дальнейшем нагревании, образуя точки микрорасплава, интенсифицирующие образование частиц  $\text{C}_2\text{S}$ .

Четкий эндозэффект при температуре  $1328^\circ\text{C}$  фиксирует появление расплава в системе, образованию которого способствуют ионы фтора. Сразу за ним следует экзозэффект при температуре  $1347^\circ\text{C}$ , характеризующий предположительно образование  $\text{C}_2\text{S}$  в системе. При незначительном повышении температуры на кривой ДСК отображается эндозэффект при температуре  $1437^\circ\text{C}$ , характерный для полиморфного перехода  $\text{C}_2\text{S}$  в  $\alpha$  модификацию.

Образование алитовой фазы в смеси с добавлением  $\text{CaF}_2$  подтверждается результатами рентгенофазового анализа образцов (рис. 2), полученных в процессе комплексного термического анализа. Анализ полученных рентгенограмм позволяет оценить разницу в фазовых



составах продуктов обжига. Фазовый состав образца, полученного из смеси без добавления фторида кальция, характеризуется наличием преимущественно дифракционных отражений характерных для  $\gamma$ - $C_2S$  – ( $d, \text{Å} = 3,01; 2,73$  и  $1,91$ ), а также оксида кальция  $CaO$  ( $d, \text{Å} = 2,41; 2,76; 1,70$ ). В небольших количествах можно отметить присутствие и  $\beta$ - $C_2S$ , дифракционные отражения которого ( $d, \text{Å} = 2,78; 2,61; 2,19$ ) отличаются небольшой ин-тенсивностью. Присутствие в фазовом составе  $\gamma$ - $C_2S$  объясняется полиморфным переходом образовавшегося в системе в процессе обжига  $\beta$ - $C_2S$ , а наличие  $CaO_{св}$  – неполнотой усвоения в силикаты кальция. Данные процессы, вызванные медленным охлаждением образца, обусловлены особенностями проведения комплексного термического анализа, то есть невозможностью резкого охлаждения по окончании анализа.

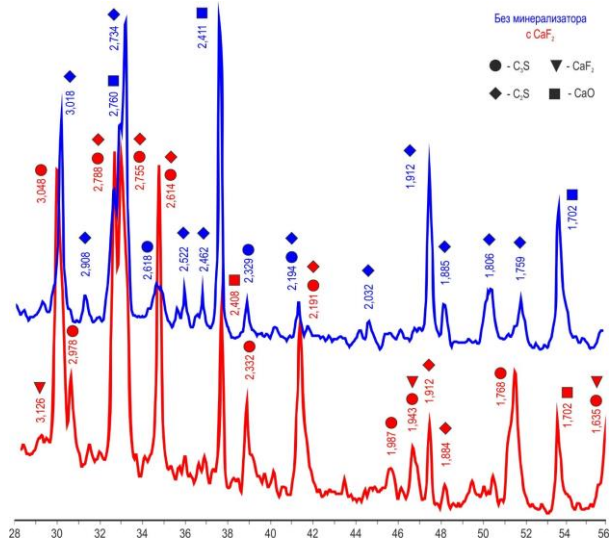


Рис. 2 Фазовый состав продуктов обжига

На рентгенограмме продукта обжига смеси с добавлением  $CaF_2$  отмечаются существенные отличия, связанные с появлением в системе трехкальциевого силиката. В данном случае можно зафиксировать четко выраженные дифракционные отражения, характерные для  $C_3S$   $d, \text{Å} = 3,04; 2,98; 1,76$ . При этом стоит отметить, что такие дифракционные отражения как  $d, \text{Å} = 2,78; 2,75; 2,61; 2,19$ , очень близки и для  $\beta$ - $C_2S$ , и для  $C_3S$ , и их невозможно разделить, чтобы отнести к конкретному минералу. Интенсивности данных отражений заметно увеличились, что

говорит о большем образовании силикатов кальция в системе, как и то, что интенсивность дифракционных отражений, характерных для CaO, уменьшилась в два раза по сравнению с продуктом обжига бездобавочной смеси. Соединений, имеющих в своем составе фтор, на рентгенограмме не обнаружено. Об образовании минералов в присутствии расплава в данной системе свидетельствует увеличение фона на рентгенограмме в области 28-38°, что говорит о наличии застеклованной фазы в материале.

Проведенные исследования позволили оценить степень влияния фторсодержащих соединений на высокотемпературный синтез силикатов кальция. Установлено, что CaF<sub>2</sub> способен оказывать влияние на взаимодействие оксидов кальция и кремния при температурах выше 600°C. Введение CaF<sub>2</sub> в смесь для получения силикатов кальция способствует более раннему началу процесса декарбонизации, сокращению количества несвязанного оксида кальция и появлению расплава в системе при более низкой температуре – 1328°C, что ниже температуры появления эвтектики в системе CaO-SiO<sub>2</sub> на 742°C. Данные изменения в протекающих физико-химических процессах, способствуют синтезу трехкальциевого силиката в системе, чего не удастся добиться при однократном обжиге без введения минерализатора. Таким образом ионы фтора, вносимые в виде фторида кальция, способствуют образованию трехкальциевого силиката и ускорению процессов высокотемпературного синтеза.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лугинина, И. Г. Цементы из некондиционного сырья / И. Г. Лугинина, В. М. Коновалов. – Новочерк. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: НГТУ, 1994. – 233 с.
2. Chatterjee, A.K. Cement Production Technology. Principles and Practice / A.K. Chatterjee. – Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2018. – 419 с.
3. Костоя, М. Синтез и гидратация трехкальциевого силиката / М. Костоя, Ш. Бишнои, Э. Галлуччи, К.Л. Скривенер // Цемент и его применение. – 2010. – №5. – С. 18-22.
4. Мишин, Д.А. Процессы клинкерообразования в присутствии минерализаторов / Д.А. Мишин, В.Д. Барбанягрэ, А.В. Черкасов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 100 с.
5. Guan, Zongfu. The effect of a row of anions on the properties of an alite-enriched clinker / Guan Zongfu, Qin Shouwan, Guo Suihua, Chen Yimin // J. Chin. Ceram. Soc. – 2004. – 32. №3. – P. 317-320.

6. Новоселов, А.Г. Эффективность использования техногенного продукта электролитического производства алюминия в качестве минерализатора при обжиге портландцементного клинкера / А.Г. Новоселов, Ю.И. Дреер, И.Н. Новоселова, Ю.А. Васина // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 5. – С. 71–80.

7. Бахарев, М. В. Искусственный плавиковый шпат и его применение в цементной промышленности / М. В. Бахарев, А. Н. Москаленко // Цемент и его применение. – 2016. – №2. – С. 50–53.

*УДК 666.3/.7*

*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*

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВОВ МАСС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ШАМОТНОГО КИРПИЧА НА ОАО «ОГНЕУПОРЫ» г. БОГДАНОВИЧ**

Черная металлургия потребляет до 70 % огнеупорных материалов, поэтому можно говорить о том, что благополучие производителей огнеупоров основано на успехах металлургов. В то же время и металлургия в целом, и огнеупорная отрасль СНГ стали полноправными элементами мирового процесса. Именно поэтому огнеупорщики, оценивая перспективы рынка огнеупоров СНГ, должны постоянно анализировать те или иные тенденции в СНГ на фоне соответствующих общемировых процессов [1, 5].

При обсуждении проблемы снижения расхода огнеупорных материалов обычно все сводится к обсуждению вопроса о снижении удельных затрат на огнеупоры (к уменьшению соответствующей статьи затрат в калькуляции) [3,4]. Сегодня производителям стали, по меньшей мере, ясно, что этот подход не до конца рационален, так как объективно затраты на огнеупоры зависят от значительного числа факторов, в том числе скрытых, вследствие существующей системы учета затрат, связанных с огнеупорными материалами [2, 6].

Данная работа посвящена исследованию снижения затрат на производство шамотного кирпича марки ША на ОАО «Огнеупоры» г. Богданович, заменой глины Нижне-Увельского месторождения на глину местного Троицко-Байновского месторождения.

Таблица 1 – Химический состав сырья

Материал	Содержание оксидов, масс. %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	п.п.п
глина Троицко – Байновская	53,37	32,20	2,58	0,81	0,47	0,56	0,60	0,92	1,66	6,83
шамот ШТБ – 4	57,25	34,55	2,76	0,86	0,51	0,57	0,66	0,98	2,76	0

В качестве исходного сырья были использованы следующие сырьевые материалы: глина Троицко-Байновского месторождения и шамот марки ШТБ – 4, химический состав которых приведен в табл. 1 [1].

Для проведения исследований были сформованы образцы в форме кубиков размером 50x50x50 мм методом полусухого прессования. В процессе экспериментальных исследований определялись формовочная влажность, физико-механические свойства образцов после обжига. Обжиг образцов производился в силитовой печи при температуре 1350<sup>0</sup> С.

Составы масс шамотного огнеупора приведены в табл. 2 [1].

Таблица 2 – Составы масс образцов

Номер состава	Содержание шамота, %	Содержание глины, %	Содержание ЛСТ, % (сверх 100 %)	Давление прессования, МПа
1	70	30	-	50
2	60	40	-	50
3	85	15	-	50
4	85	15	1	50

Результаты изменения физико-механических характеристик исследуемых составов представлены в табл. 3.

Таблица 3 – Физико-механические характеристики образцов

Номер состава	V, %	П <sub>откр</sub> , %	ρ <sub>каж</sub>	Δm, %	Δl <sub>полн</sub> , %	σ <sub>сж</sub> , МПа
1	12,03	23,35	1,94	3,50	0,74	63,67
2	10,70	21,45	2,00	4,74	0,83	67,40
3	15,38	28,07	1,82	2,19	0,27	22,27
4	10,67	21,29	2,00	2,97	1,2	57,80

Полученные образцы шамотного огнеупора за исключением состава № 3 соответствуют требованиям ГОСТ 390-96, предъявляемые к кирпичу данной марки.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сказать, что для производства шамотного кирпича марки ША на ОАО «Огнеупоры» г. Богданович можно использовать местную глину Троицко-Байновского месторождения вместо глины Нижне-Увельского месторождения. Это позволит сократить расходы на производство данного кирпича, за счет уменьшения затрат на транспортировку сырья.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андрианов, Н.Т. Химическая технология керамики: Учеб. пособие для вузов / Н.Т. Андрианов, В.Л. Белкевич, А.В. Беляков, А.С. Власов, И.Я. Гузман, Е.С. Лукин, Ю.М. Мосин, Б.С. Скидан. – М.: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ», 2012. – 496 с. – ISBN 978-5-94026-019-6.

2. Шамотный кирпич. БОГДАНОВИЧСКОЕ ОАО «ОГНЕУПОРЫ». ООО «Реал»: [<https://realcheb.ru/>], 2023. – URL: <https://realcheb.ru/proizvoditel/bagdanovich.php> (дата обращения 18.04.2023).

3. 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.

4. Производство и состав огнеупорного кирпича. Производство шамота. Кирпич – отец строительства: [<https://kubkirpich.ru/>], 2023. – URL: <https://kubkirpich.ru/o-kirpiche/sostav-ogneupornogo-kirpicha.html> (дата обращения 21.04.2023).

5. 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.

6. 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.

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Повышение качества силикатных материалов важно по нескольким причинам:

1. Увеличение долговечности и надежности строительных конструкций. Силикатные материалы широко применяются в строительстве как материалы для кладки стен, арок, перегородок и т.д. Повышение качества материалов повышает надежность и долговечность строительных конструкций, что значительно снижает вероятность аварий. [4]

2. Улучшение экологических характеристик. Силикатные материалы являются относительно безопасными, но в процессе их производства может выделяться большое количество вредных веществ. Повышение качества материалов и оптимизация производственных процессов помогает снизить вредные выбросы в окружающую среду.

3. Улучшение внешнего вида и эстетических свойств. Силикатные материалы могут использоваться не только для внутренней отделки, но и для наружного оформления зданий. Повышение качества материалов и использование современных технологий позволяет создавать материалы с более высоким эстетическим уровнем и уходить от серости и однообразности традиционных материалов.

4. Увеличение популярности продукции. Высокое качество продукции и удовлетворенность потребителей являются важными факторами в успехе на рынке. Улучшение качества силикатных материалов повышает их конкурентоспособность и популярность на рынке стройматериалов. [2]

5. Социальное укрепление бизнеса. Повышение качества продукции и учет экологических и социальных факторов помогает укрепить позиции бизнеса, которые в будущем смогут выстоять как на рынке, так и среди социального сообщества. [2]

Таким образом, повышение качества силикатных материалов не только принесет пользу конечным потребителям и строителям, но и способствует укреплению социального статуса бизнеса.

Повышение качества силикатных материалов возможно при использовании ряда методов и технологий, таких как:

1. Использование высококачественных сырьевых материалов. От качества использованных материалов зависит и качество конечного продукта. При выборе сырья для производства силикатных материалов необходимо учитывать его состав, размер, форму и прочие характеристики.

2. Оптимизация процесса изготовления. В процессе изготовления силикатных материалов необходимо поддерживать определенную температуру, давление и влажность для достижения наилучшего качества продукции. Регулярный контроль параметров производства позволяет поддерживать устойчивое качество продукции.

3. Использование современных технологий. Современные технологии, такие как компьютерное моделирование, помогают снизить количество брака и повысить качество продукции. Использование автоматических систем контроля и управления при производстве позволяет минимизировать ошибки и обеспечить однородное качество продукции. [3]

4. Улучшение экологичности продукции. Силикатные материалы, произведенные с учетом экологических требований, могут быть более конкурентоспособными и востребованными на рынке. Улучшение общей экологичности производства и учет заботы о окружающей среде поставят производителя в центр экологически чистого и качественного производства.

5. Контроль качества продукции перед ее отправкой на рынок. Регулярный контроль качества продукции перед ее отправкой на рынок позволит снизить количество брака и обеспечить покупателей качественной продукцией. Это также поможет улучшить репутацию производителя на рынке и повысить доверие покупателей. [1]

6. Повышение прочности материала приведет к прочности его меления. Для этого проводим опыт и заносим его данные в таблицу 1.

Таблица 1 – Влияние сульфэтоксидатов на качество силикатов

Состав рецептуры, масс %						Результаты испытаний	
Калиевое стекло	Латекс	Мел	Оксид железа	Сульфэтоксидаты	Вода	Прочность	Меление
15,4	10	34,7	15,4	-	24,5	4	8
15,4	10	34,7	15,4	8,1	16,8	11	6-7
30,0	10	30,0	12,0	-	18,0	4	5-6
30,0	10	30,0	12,0	5,0	13,0	11	5-6
20,0	15	10,0	20,0	7,0	28,0	18	5-6
15,4	-	34,7	15,4	8,1	26,4	9	10

Значимое значение при повышении качества силикатных материалов имеет не только техническая сторона, но и экологическая. Необходимо учитывать, как экономические, так и социальные факторы, которые влияют на качество продукции и производственный процесс. Более детальное планирование и управление ради экономии временных ресурсов также помогут в совершенствовании активности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлова И.А. Основы технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов; Мин-во науки и высш. обр. РФ. — Екате-ринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2020.— С. 6-22.

2. <https://tehlib.com/stroitel-ny-e-materialy/silikatnye-materialy-i-izdeliya/>

3. <https://www.geokniga.org/labels/15160>

4. <https://obuchalka.org/20201025126232/fizicheskaya-himiya-silikatov-paschenko-a-a-myasnikov-a-a-myasnikova-e-a-1986.html>

УДК 666.94.015.427

*Журавлёва К.Д., Заколюдня Д.А., Вакуленко Д.А.*

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

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В. Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АО «ВАНАДИЙ ТУЛА» ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время в цементной промышленности возрастают как возможности, так и потребность использования альтернативных веществ, замещающих топливо, сырье или клинкер. Самым распространенным и наиболее используемым отходом является шлак. Шлак - отход металлургической промышленности, возникающий в процессе выплавки металлов, после очистки от ценных компонентов, отправляемый в отвал.

Благодаря материалам вторичного производства, отходам металлургической промышленности, соединенным с цементом, конструкции получают более стойкими и бюджетными. Также использование шлаков позволяет заменить алюмосиликатный сырьевой компонент, снизить в 1,2-1,6 раза расход карбонатного кальциевого компонента, увеличить объем производства цемента в 1,5-2 раза,



снизить расход энергии до 40 %, улучшить экологические характеристики в регионе.

В работе изучалась возможность использования шлака АО «Ванадий Тула». На предприятии из руды извлекают сырье под названием Ванадий, отходом промышленности является шлак. Металл создается благодаря резкому охлаждению в воде, а потом кристаллизации в растворах с добавлением химических кислот и оксида углерода.

Химический состав полученного шлака представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав шлака, масс%

Оксид	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	прочее
%	70,74	17,64	8,53	0,867	0,819	0,709	0,695

Основной составляющей шлака является оксид алюминия. Присутствующий оксид кальция позволяет предположить, что исследуемый отход может обладать свойствами алюминатного цемента, главными компонентами которого являются алюминаты кальция.

В составе находится оксид ванадия V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>=0,819%, следовательно, необходимо выяснить его влияние на класс опасности шлака. С помощью рентгенофазового анализа выявлено, что V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> связывается с Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в шпинель FeV<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, в которой ванадий не образует пентавалентный ванадий, соответственно, не растворяется в воде, а значит является безопасным.

В составе шлака присутствует MgO=8,53%. Известно, что содержание периклаза (пережженного MgO) в количестве более 1% опасно для изделий избыточным расширением, а на рентгенометрических данных периклаз и шпинель - MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> достаточно близки.

Чтобы убедиться в отсутствии вредного влияния периклаза исследована равномерности объема образцов-лепёшек изготовленных из тонкомолотого шлака. Лепёшки изготовлены из 40гр теста с водотвердым отношением В/Т=26%. Из теста формируется шарик и помещается на пластину, смазанную машинным маслом. Пластина встряхивается ударами о стол, до превращения образца в лепешку диаметром 3,5-4 см и толщиной в середине около 1 см, чтобы получить острые края и закругленную поверхность, приглаживаем лепешку от наружных краев к центру смоченным ножом (Рис. 1 а).



Рис. 1 Проба на равномерность изменения объёма: а – до пропаривания; б – после пропаривания

Лепешка сутки твердела в воздушновлажных условиях, затем еще сутки в воде. После этого была выдержана 6 часов в пропарочной камере при температуре 100 °С.

После пропаривания (Рис. 1б) не выявлено ни одной трещины, проба выдержала испытания. Соответственно, оксид магния в шлаке связан в шпинель и не нарушит равномерности твердения изделий.

Также для исследования возможности использования исследуемого шлака в производстве вяжущего материала, необходимо определить наличие гидравлической активности шлака. Гидравлическая активность определена в малых образцах, изготовленных из шлакового теста с водошлаковым отношением равным 26%. Полученные прочностные характеристики представлены в таблице 2.

Таблица 2-Гидравлическая активность шлака

Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте суток			
1	3	7	28
28	48	55	61

Прочностные показатели шлака соответствуют характеру гидратации алюминатного цемента - быстрый набор прочности с последующим замедлением.

По полученным данным можно предположить, что шлак предприятия «Ванадий-Тула» может быть использован в качестве вяжущего материала. Для расширения области применения техногенного отхода планируется исследовать поведение шлака в качестве компонента композиционных вяжущих материалов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов И. Н. Особенности процессов минералообразования при обжиге цементного клинкера с использованием медеплавильного шлака / И.Н.Борисов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2008. - №2. - 11-13 с.
2. Борисов И.Н. Расширяющаяся добавка на основе сульфатированного и ферритного отходов для получения специальных цементов/ И. Н. Борисов, О. С. Мандикова, А. Н. Семин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2012. - №1. - 125-128 с.
3. 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. Т. 147. С 125-130
4. 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.
5. Горшков В.С. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве / В. С. Горшков. - М. : Стройиздат, 1985. - 272 с.
6. Баженов Ю.М. Применение промышленных отходов в производстве строительных материалов / Ю. М. Баженов. - М. : Стройиздат, 1986. - 215 с.

*УДК 666.97*

*Загирный Р.В., Чуриков А.С.*

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

### **ВЛИЯНИЕ ЧАСТИЧНОЙ ЗАМЕНЫ БЕЛОГО ЦЕМЕНТА МРАМОРНОЙ МУКОЙ НА БЕЛИЗНУ И ИСТИРАЕМОСТЬ ОБЛИЦОВОЧНОГО СЛОЯ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ**

В настоящее время отечественная цементная промышленность ориентирована, в том числе и на производство специальных и декоративных цементов. Значительно возросли потребности строительной индустрии в изделиях из белого и цветных цементов [1].

Отличительной особенностью тротуарных покрытий из брусчатки является широкая цветовая гамма и разнообразие конфигураций. К дорожным покрытиям предъявляются высокие эксплуатационно-

технические требования – прочность и морозостойкость. Требованиям обязаны соответствовать и декоративные изделия из белого цемента [2, 3].

Декоративные дорожные изделия готовят по принципу слоистых конструкций. К прочностным характеристикам верхнего облицовочного слоя предъявляются особые требования, так как именно он подвергается максимальному агрессивному воздействию и одновременно несёт декоративные функции.

С помощью химических добавок можно существенно улучшать структурные характеристики цементного камня, в частности, увеличивать в нем процентное содержание условно замкнутых пор, что позволяет повышать прочность и плотность бетона, гидрофобизировать его поверхность и др. [4, 5]. Но, использование химических добавок, улучшая одни характеристики, может значительно изменять другие строительно-технические свойства.

Задачей проведённой работы было установить влияние замены части белого цемента мраморной мукой в составе декоративного верхнего слоя тротуарной плитки.

Изучено влияние частичной замены белого цемента на белизну, прочность и истираемость облицовочного слоя тротуарной плитки. Работа проведена в промышленной лаборатории. За контрольный образец «без добавок» принят состав промышленного выпускаемого продукта. В исследуемых образцах цементная составляющая заменена мраморной мукой в количестве 7,5-12,5% от массы белого цемента.

Влияние добавок на прочностные характеристики бетонной смеси определялось в образцах-кубах с размером грани 100мм. В исследуемых образцах цементная составляющая заменена мраморной мукой в количестве 7,5%, 10% и 12,5% от массы белого цемента.

Поскольку основным показателем качества белых цементов является белизна, на приборе ФБ-2 интенсивность света, рассеиваемого образцом, определяется в зависимости от интенсивности света, рассеянного эталоном ( $BaSO_4$ ). Также было определено влияние добавки на показатель белизны цемента. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Влияние добавок на белизну цемента

Добавка	Белизна, % по $BaSO_4$
Без добавок	87
Мрамор – 7,5%	88
Мрамор – 10%	89
Мрамор – 12,5%	89

При добавлении 10% и 12,5% мраморной муки увеличивается показатель белизны на 2%. При замещении белого цемента 7,5% мраморной мукой появился незначительный прирост белизны на 1%. Это связано с тем, что в химическом составе мрамора содержания оксида железа практически нет ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0,03\%$ ).

Таким образом, мрамор можно использовать без опасения снижения декоративных свойств белого цемента в облицовочном слое тротуарной плитки.

Приготовление опытных замесов производили в лабораторном смесителе принудительного действия. Приготовление начинают с перемешивания сухих материалов – песка, белого цемента и мраморной муки для опытных образцов. Воду затворения добавляли к замесу в количестве, соответствующем тесту нормальной густоты.

После перемешивания смеси в бетоносмесителе, установленную на виброплощадку форму заполняли бетонной смесью доверху с помощью штыкования без виброуплотнения. Избыток смеси срезали кельмой вровень с верхними краями формы.

После формования образцы твердели в камере тепловлажностной обработки при температуре  $60^\circ\text{C}$  в течение суток. Далее образцы хранились в камере нормального твердения.

При проведении физико-механических испытаний наибольшую прочность показали образцы с заменой 10% белого цемента мраморной мукой. В начальные сроки твердения лучшей прочностью обладает бездобавочный образец и с введением в цемент 7,5% мрамора. Образцы с добавлением в цемент 12,5% мрамора обладают относительно низкими прочностными характеристиками в начальные сроки твердения.

Определение истираемости образцов производили согласно ГОСТ 13087-2018 [6]. Для испытаний на круге истирания формовали образцы с размером грани 70 мм.

Использовались серии образцов без добавок (контрольный) и с заменой 10% белого цемента мраморной мукой (по три образца на каждую серию).

После каждого цикла испытаний образцы вынимали из гнезда истирающего круга, поворачивали на  $90^\circ$  в горизонтальной плоскости. После четырех циклов испытания образцы вынимали из гнезд оборудования, измеряли высоту образца и далее взвешивали.

Результаты контроля истираемости образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние частичной замены белого цемента мраморной мукой на истираемость облицовочного слоя тротуарной плитки

Добавка	№ п/п	Влажностное состояние испытываемых образцов	Вид абразива и переводной коэффициент	Масса образцов до испытания, г	Масса образцов после испытания, г	Площадь образцов, см <sup>2</sup>	Истираемость отдельных образцов, г/см <sup>2</sup>	Истираемость серии образцов, г/см <sup>2</sup>
Без добавок	1	Воздушно-сухой	Шлифзерно 16	554,0	526,9	44,69	0,61	0,64
	2			571,4	542,5	45,77	0,63	
	3			551,2	521,0	45,02	0,67	
Мрамор - 10%	1	Воздушно-сухой	Шлифзерно 16	556,4	528,1	45,49	0,62	0,62
	2			549,6	521,3	44,96	0,63	
	3			552,8	525,8	45,23	0,60	

Из полученных данных (табл. 2.) следует, что величина истираемости по изменению массы не превышает допустимого показателя 0,7 г/см<sup>2</sup>. Следовательно, все образцы соответствуют требованиям к верхнему слою тротуарной плитки, согласно ГОСТ 13087-2018[6] и ГОСТ 17608-2017 [7].

Образцы облицовочного слоя тротуарной плитки с замещением 10% белого цемента мраморной мукой обладают большей стойкостью к истиранию по сравнению с контрольным составом. Следовательно, добавка мраморной муки делает поверхностный слой плитки менее подверженным истираемости по сравнению с бездобавочными образцами.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зубехин, А.П. Технология белого портландцемента. М.: Высшая школа, 2012. 250 с.

2. Гридчин, А.М. Обжиговая технология производства тротуарной плитки / А.М. Гридчин, В.В. Строкова, А.В. Шамшуров // Вестник БелГТАСМ.2001.–№1. – С.33-35
3. Корюков, В.П. Жесткий цементобетон // Автомобильные дороги. – 1988.– №9. – С.20-21.
4. Бутт Ю.М. Химическая технология вяжущих. М.: Высшая школа, 1980. 472 с.
5. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента: учеб.пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 308 с.
6. ГОСТ 13087-2018. Бетоны. Методы определения истираемости. – Введ. 01.09.2019. М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.
7. ГОСТ 17608-2017. Плиты бетонные тротуарные. Технические условия. – Введ. 01.03.2018. М.: Стандартинформ, 2017. – 41 с.

**УДК 666.94.015.427**

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

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ АО «ВАНАДИЙ ТУЛА» ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СПЕЦИАЛЬНЫХ ЦЕМЕНТОВ**

Цемент со шлаком применяют с 1824 года. Эта композиция справедливо может быть названа наиболее популярным видом цемента, нашедшим свое применение во всех сферах строительства.

Смесь цемента со шлаком используют уже почти 2 столетия, за это время данный материал нашел применение во всех сферах строительства.

Рассматривая цемент со шлаком, нужно тщательно изучить все нюансы и особенности. Несмотря на большое количество плюсов, основным достоинством шлакопортландцемента является более низкая себестоимость при прочих равных.

Для исследования было взято несколько образцов пористого шлака АО «Ванадий Тула», с заданным химическим составом (Табл. 1).

Таблица 1 - Химический состав сырьевого шлака АО «Ванадий Тула»

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>
70.74	14.64	8.53	0.867	0.819	0,709	0,198	0,194	0,0599	0.0581

Высокое содержание  $Al_2O_3$  и присутствие оксида кальция предполагает наличие в составе шлака алюминатов кальция, которые при гидратации в присутствии гипса способны образовать этtringит.

При исследовании фазового состава шлака было обнаружено, что он состоит преимущественно из оксидов алюминия, кальция и магния эти оксиды связаны в алюминаты кальция ( $CA$ ,  $CA_2$ ) и шпинель ( $MgAl_2O_4$ ). (Рис. 1).

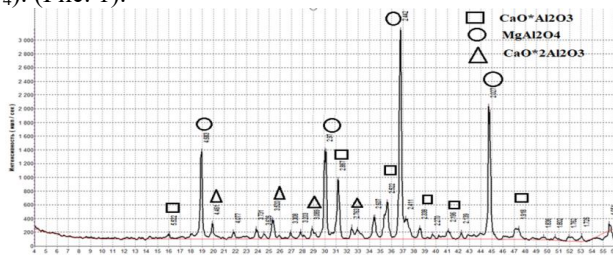


Рис. 1 Фазовый состав шлака АО «Ванадий Тула»

Далее были определены потери при прокаливании. В тигель отобрала пробу размолотого шлака в количестве 1 грамм и поместила в разогретую до температуры  $1000^{\circ}C$  печь. Выдерживала образец до тех пор, пока его масса не стала постоянной. Потери при прокаливании оказались незначительными -1.35%.

Так же шлак был подвержен исследованию на гидравлическую активность. Было сделано 2 пробы. Шлак был измельчен в порошок и затворен водой. В течение суток пробы твердели на воздухе, получили твёрдый, довольно прочный продукт. Далее пробы поместили в ёмкость с водой и оставили на трое суток. Разрушение и трещин после 3х суток обнаружено не было, шлак обладает гидравлической способностью. Минералы шлака вступают во взаимодействие с водой и образуют нерастворимые соединения, следовательно, сделала вывод, что материал пригоден к дальнейшим исследованиям.

Далее рассмотрено влияние добавки гипса на прочностные характеристики камня из шлака «Ванадий Тула». Добавку гипса вводили в количестве до 30%. Прочностные характеристики определены в малых образцах, изготовленных из шлакового теста.

Набор прочности образцов без добавок имеет характер алюминатных цементов - быстрый в ранние сроки твердения с последующим замедлением.

Изменение прочностных характеристик с вводом добавки гипса указывает на процессы нарушения структуры камня в результате расширения.



Таблица 2 - Влияние добавки гипса на гидравлическая активность шлака АО «Ванадий Тула»

Содержание гипса. %	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте суток		
	1	3	7
0	42	49	51
20	29	25	23
25	41	27	27
30	33	26	26

Был проведён эксперимент на равномерность изменения объема. Его целью было определить количество гипса, которое может привести к разрушающему воздействию. Для того, чтобы провести эксперимент было сделано 3 лепешки из тонкомолотого шлака, с добавкой гипса 20, 25 и 30%. Образцы на сутки твердели в гидравлическом затворе, затем находились сутки в воде. Далее образцы 6 часов пропаривали при температуре 95-100 °С, с постепенным охлаждением. После пропаривания образцы сохранили целостность.

Изучен фазовый состав продуктов гидратации шлака. В составе затвердевшего шлакового камня идентифицированы: десятиводный однокальциевый гидроалюминат и гексагональный восьмиводный гидроалюминат кальция. (Рис. 2).

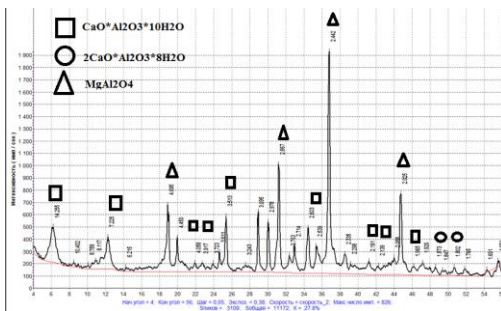


Рис. 2 Фазовый состав продуктов гидратации шлака

По полученным данным можно предположить, что шлак предприятия «Ванадий-Тула» может быть использован в качестве вяжущего материала.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисов И. Н. Особенности процессов минералообразования при обжиге цементного клинкера с использованием медеплавильного

шлака / И.Н.Борисов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2008. - №2. - 11-13 с.

2. Борисов И.Н. Расширяющаяся добавка на основе сульфатированного и ферритного отходов для получения специальных цементов/ И. Н. Борисов, О. С. Мандикова, А. Н. Семин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2012. - №1. - 125-128 с.

3. 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. Т. 147. С 125-130

4. 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.

5. Горшков В.С. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве / В. С. Горшков. - М. : Стройиздат, 1985. - 272 с.

6. Баженов Ю.М. Применение промышленных отходов в производстве строительных материалов / Ю. М. Баженов. - М. : Стройиздат, 1986. - 215 с.

**УДК 339**

*Иван Рейес, Карлос Торрес, Синтия Мора*

*Научный руководитель: Колпакова Е.В., ст. преп.*

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

## **ЗАДАЧА ПЕРЕХОДА К МОДЕЛИ УСТОЙЧИВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В ЭКВАДОРЕ: ВОЗМОЖНОСТИ И РИСКИ**

Южноамериканская страна Эквадор, затерянная в Амазонских лесах между Перу и Колумбией, никогда не фигурировала в энергетическом мире как нефтегазовая держава. И это при том, что она обладает третьими по величине запасами нефти после Венесуэлы и Бразилии. Институт развития технологий ТЭК (ИСТЭК) разбирается, с чем это связано и рассказывает, как эквадорцы собираются эту ситуацию исправлять и что ей мешает.

Основная проблема, с которой сталкивается Эквадор в процессе перехода к устойчивой энергетической модели, заключается в необходимости диверсифицировать свою энергетическую матрицу. Это предполагает более широкое использование возобновляемых негидроэлектрических источников, таких как солнечная, ветровая и

геотермальная энергия. Кроме того, следует поощрять энергоэффективность и электрификацию транспортного и жилищного секторов, что способствует сокращению выбросов парниковых газов.

Впервые нефть была обнаружена в Эквадоре в конце 1960-х годов с помощью американского консорциума Техасо-Gulf. И первый нефтяной фонтан из скважины Лаго-Агрио чрезвычайно воодушевил местных жителей. Страна начала качать нефть и зарабатывать, увеличив свой ВВП за 50 лет почти в два раза. Из абсолютно небогатой страны Эквадор превратился в страну вполне себе крепкую экономически и довольно твердо стоящую на ногах, особенно по латиноамериканским меркам. Но, как говорится, есть к чему стремиться [4].

В Эквадоре существуют весьма перспективные возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия. Возможности также изучаются в других областях, таких как гидроэнергетика. Однако инвестиции в новую инфраструктуру возобновляемых источников энергии и обучение работников для новой отрасли сопряжены со значительными проблемами и затратами [2].

Одним из ключевых аспектов в этом вопросе является необходимость тщательного планирования и сотрудничества между соответствующими субъектами в энергетическом секторе Эквадора, включая правительственные учреждения, частный сектор, неправительственные организации и гражданское общество в целом. Важно, чтобы были решены риски и проблемы, связанные с инвестициями в новую инфраструктуру возобновляемых источников энергии и обучением работников для этой развивающейся отрасли, наряду с другими соответствующими социально-экономическими и культурными факторами.

Согласно статистике Министерства энергетики и невозобновляемых природных ресурсов, в 2020 году на гидроэнергетику приходилось 55,8% выработки электроэнергии в стране, а на нефтепродукты-42,9%. Возобновляемые источники, не связанные с гидроэнергетикой, мало участвуют в структуре энергетики. Это свидетельствует о существующем разрыве в диверсификации энергетической матрицы, что требует государственных инициатив и политики, способствующих развитию возобновляемых источников энергии [2,3].

По данным 2022 года, страна добывала около полумиллиона баррелей в сутки. Такой же объем был и в 2021 году, и в 2019. Иными словами, движения вперед особого не наблюдается. Но местные власти очень надеются эту ситуацию изменить, в частности, воспользовавшись массовым изменением нефтяных потоков в мире, которое началось в

2022 году с началом конфликта на Украине. До этого в 2020 году Эквадор уже пытался совершить прорыв, выйдя из ОПЕК, тем самым избежав сокращения добычи. Но и это не сильно помогло. Да и вряд ли могло помочь, учитывая не сильно большую значимость Эквадора для организации, в которую страна вступила в далеком 1973 году, но за все эти годы так свой вес в ОПЕК не увеличившая [4].

Правительство Эквадора поставило амбициозные цели в национальном энергетическом плане на 2021-2040 годы по снижению зависимости от ископаемого топлива и увеличению доли возобновляемых источников энергии в структуре энергетики. Ожидается, что к 2040 году 50% электроэнергии будет вырабатываться из нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Кроме того, ожидается ежегодное повышение энергоэффективности на 5% и сокращение выбросов парниковых газов на 46% [1].

Однако существуют также риски, связанные с переходом к модели устойчивой энергетики. Одним из основных является зависимость от импортных технологий и оборудования, что увеличивает стоимость проектов и создает логистические и финансовые проблемы. Кроме того, существуют ограничения в мощности по передаче и распределению электроэнергии, которые могут затруднить полное использование потенциала возобновляемых источников энергии [1].

Ожидается, что рынок ЕРС в Эквадоре будет расти в среднем на более чем 2,5% в течение прогнозируемого периода 2020–2025 годов. Ожидается, что такие факторы, как увеличение инвестиций в этот сектор и увеличение потребления энергии, будут стимулировать рынок ЕРС в Эквадоре в прогнозируемый период. Однако ожидается, что плохое финансовое положение страны будет сдерживать рынок.

Растущая установка различных энергетических проектов с упором на проекты по возобновляемым источникам энергии в стране, вероятно, будет стимулировать рынок электроэнергетики Эквадора ЕРС в прогнозируемый период.

Страна инвестирует в небольшие гидро- и солнечные проекты. Увеличение числа проектов по возобновляемым источникам энергии при снижении зависимости от ископаемого топлива может стать возможностью для игроков на рынке энергетических ЕРС.

Сектор возобновляемых источников энергии, вероятно, будет расти самыми быстрыми темпами в прогнозируемый период из-за увеличения инвестиций в отрасль и дальнейшего открытия рынка для частных игроков [5].

В заключение, переход к модели устойчивой энергетики в Эквадоре является фундаментальной задачей для будущего страны и

планеты. Несмотря на риски, возможности и преимущества, которые предлагает страна, позволяют с оптимизмом смотреть на возможность достижения амбициозных целей по сокращению выбросов и развитию энергетического комплекса Эквадора.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Национальный энергетический план на 2021-2040 годы: Министерство энергетики и невозобновляемых природных ресурсов. (2021).

2. Статистические данные Министерства энергетики и невозобновляемых природных ресурсов Эквадора: Министерство энергетики и невозобновляемых природных ресурсов. (2020). Отчет Министерства энергетики и невозобновляемых природных ресурсов о потенциале производства возобновляемой энергии в Эквадоре: Министерство энергетики и невозобновляемых природных ресурсов. (2019).

3. Михаил Вакилян. Зарубежный корреспондент ИРТТЭК/ Нефтяная дилемма Эквадора: добывать не загрязняя

4. Возобновляемые источники энергии в Эквадоре. Текущее положение, тенденции и перспективы/ Университет Куэнки, 2020 г. Мануэль Рауль Пелаес Саманьего, доктор философии.

5. Куприянов С.В. Национальные социально-экономические системы в условиях перехода к новому социально-экономическому укладу: монография / под ред. проф. С.В. Куприянова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2021. 300 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***

## **ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ ВЫГОРАЮЩЕЙ ДОБАВКИ НА СОСТАВ И КАЧЕСТВО КЛИНКЕРА**

Утилизация отходов в цементных печах в виде наиболее экологически безопасный способ. Есть ряд преимуществ использования альтернативных видов топлива в цементной промышленности:

снижение денежных затрат на топливо, энерго- и ресурсосбережение, экологически безопасная утилизация отходов других производств. Однако нужно иметь ввиду, что к альтернативному топливу предъявляются некоторые требования, такие как наличие больших объемов, законодательство и разрешения, прежде чем можно будет его использовать. Привычный способ для утилизации отходов в печах для сжигания мусора имеет ряд некоторых недостатков таких как, вредные выбросы в атмосферу и остаточная зола после сжигания, требующая соответствующей утилизации. Поэтому в настоящее время стоит обратить особое внимание на использование горючих отходов в качестве альтернативного топлива для цементных вращающихся печей [1].

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

Исследовано как повлияет использование пластика в качестве выгорающей добавки на качество клинкера. Для этого смоделировали подачу пластиковых отходов с холодного конца печи.

Для эксперимента, в соответствии с расчётами, в состав цементной сырьевой смеси ввели 0,9% пластиковых отходов.

В идентичных условиях синтезированы 2 клинкера:

- контрольный без добавок;
- с добавкой пластикового отхода.

Температура обжига 1400°C при выдержке 1 час. Обожженный клинкер резко охлаждался при комнатной температуре.

Этилово-глицератным методом установлено, что в составе клинкеров отсутствует свободный оксид кальция, что свидетельствует о завершении реакций клинкерообразования.

Проанализировано влияние добавки пластика на фазовый состав клинкера, который определяли с помощью рентгенофазового анализа. Представлен фрагмент рентгенограммы образца без добавки (Рис. 1).

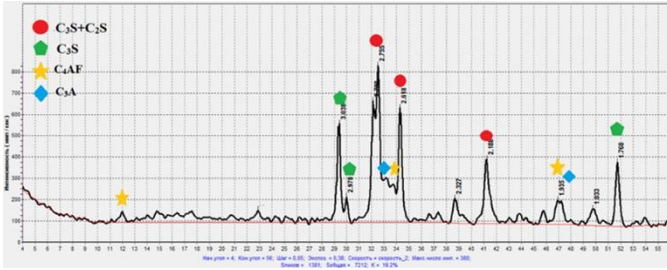


Рис. 1 Фрагмент дифрактограммы клинкера без добавок

В составе клинкера идентифицированы следующие минералы:

- C3S+C2S – d=2,755; 2,618, 2,188.
- C3S – d=3,038; 2,978; 1,768.
- C3A – d=2,714; 1,924.
- C4AF – d=2,656; 1,985.

Так же представлена рентгенограмма клинкера, синтезированного как модель использования пластикового отхода в качестве выгорающей добавки (Рис. 2).

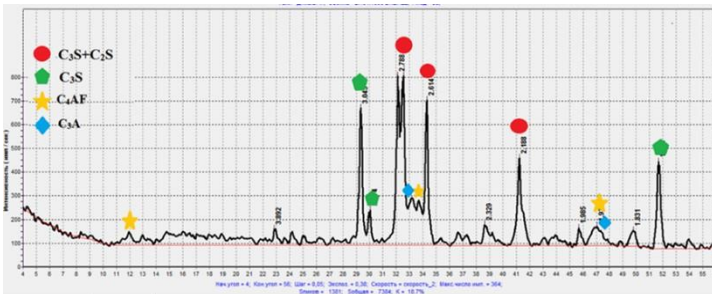


Рис. 2 Фрагмент дифрактограммы клинкера с добавкой пластика

В составе клинкера идентифицированы следующие минералы:

- C3S+C2S – d=2,788; 2,614, 2,188.
- C3S – d=3,043; 2,978; 1,768.
- C3A – d=2,714; 1,924.
- C4AF – d=2,656; 1,985.

По Данным рентгенофазового анализа, использование пластикового отхода в качестве выгорающей добавки не оказывает значимого влияния на фазовый состав клинкера, можно отметить незначительные отличия в кристаллизации промежуточной фазы.

Из продуктов обжига был изготовлен цемент путем измельчения в металлической, а затем в фарфоровой ступках до удельной поверхности 370 м<sup>2</sup>/кг с добавкой 5% гипса [2]. Гидравлическую активность синтезированных клинкеров устанавливали по пределу прочности на сжатие малых образцов размером 1,41 x 1,41 x 1,41 см из цементного теста с водоцементным отношением В/Ц=25%.

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

Таблица 2 - Влияние добавки пластика при использовании его в качестве выгорающей добавки на гидравлическую активность клинкеров

Клинкер	2 суток	7 суток	28 суток
	Прочность при сжатии, МПа		
Без добавок	27	51	83
С добавкой пластика	26	53	79

По данным результатам можно сделать вывод, что использование пластикового отхода в качестве выгорающей добавки не оказало негативного воздействия на гидравлическую активность цемента. Установлена возможность использования отхода в качестве выгорающей добавки, с ориентировочным топливозаменением до 10% без ухудшения качества 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. 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.



*Кидане В.Г., Рязанов Д.И.*

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

## **ПОВЫШЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Во многих сферах жизни люди подвергаются воздействию повышенного радиационного излучения. Одним из важнейших факторов создания безопасной среды обитания является разработка и использование строительных материалов, обладающих повышенной устойчивостью к воздействию ионизирующего излучения.

Одними из наиболее широко используемых стеновых материалов в промышленном и гражданском строительстве являются силикатные материалы автоклавного твердения, которые отличаются высокими физико-механическим и эксплуатационным показателями. Силикатная промышленность выпускает силикатные материалы плотной и ячеистой структуры. Наиболее распространенным материалом плотной структуры является силикатный кирпич.

Традиционная технология производства силикатного кирпича предусматривает использование в качестве кремнеземистого сырья кварцевого песка и негашеной комовой извести в качестве вяжущего. Для повышения реакционной способности сырья и повышения плотности материала часть песка подвергается совместному помолу с негашеной известью. При этом получается известково-песчаное вяжущее (ИПВ). За счет этого также интенсифицируется фазообразование при автоклавной обработке.

Традиционное сырье обеспечивает процесс фазообразования в системе «CaO–SiO<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O», что ограничивает синтез новообразований низкоосновными CSH(B) и высокоосновными C<sub>2</sub>SH(A) гидросиликатами кальция.

Для совершенствования технологии производства автоклавных силикатных материалов, повышения их качества проводятся исследования по изучению возможности расширения сырьевой базы за счет использования промышленных отходов и местного сырья. Работы в этом направлении, проведенные Белгородском государственном технологическом университете им. В.Г. Шухова, позволили решить проблему использования в качестве сырья глинистых отложений, характерной особенностью которых является незавершенность

процессов глинообразования [1–25]. С использованием этого сырья фазообразование протекает в системе «CaO–SiO<sub>2</sub>–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–H<sub>2</sub>O», что существенно увеличивает разнообразие состава синтезируемых цементирующих соединений. Разработаны составы сырьевых смесей и технологические режимы для получения эффективных автоклавных силикатных материалов [10–13].

В настоящее время силикатные материалы на традиционном сырье не используются в качестве радиационно-защитных материалов. Для повышения защитных свойств к ионизирующему излучению в составе традиционного сырья можно использовать породы, содержащие оксиды железа, в частности, отходы магнитной сепарации железных руд («хвосты»).

Целью работы является изучение влияния отходов магнитной сепарации железных руд («хвосты») на физико-механические и радиационно-защитные свойства плотных силикатных материалов.

Для проведения исследований использовался песок Разуменского месторождения Белгородской области, известь АО «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ» г. Белгород и отходы мокрой магнитной сепарации железных руд месторождения Курской магнитной аномалии (КМА).

«Хвосты» содержат кварц (не менее 70 мас. %), железистые карбонаты, алюмосиликаты и оксиды железа, преимущественно магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), который является природным оксидом железа (II, III), плотностью от 4900 до 5200 кг/м<sup>3</sup>. Черный цвет магнетита придает «хвостам» серый цвет. По гранулометрическому составу «хвосты» содержат преимущественно псаммитовую и алевритовую фракции.

Сырьевые смеси готовили перемешиванием в заданных соотношениях ИПВ, песка и «хвостов». Активность сырьевой смеси соответствовало содержанию активной СаО 8 %. Из сырьевых смесей прессовали образцы, которые подвергали автоклавной обработке при давлении 1 МПа по режиму 1,5+6+1,5 ч.

Проводилась оценка влияния «хвостов» на прочностные и радиационно-защитные свойства силикатных материалов. Предел прочности при сжатии определяли в воздушно-сухом и в водонасыщенном состояниях (рис. 1).

Предел прочности при сжатии силикатных материалов как воздушно-сухом, так и в водонасыщенном состоянии возрастает соответственно с 26,6 до 33,8 МПа и с 23,4 до 30,2 МПа (на 27 %) с увеличением содержания «хвостов» до 30 мас. %. Далее прочность снижается. Однако, при полной замене песка «хвостами» прочность остается на уровне контрольных известково-песчаных образцов.

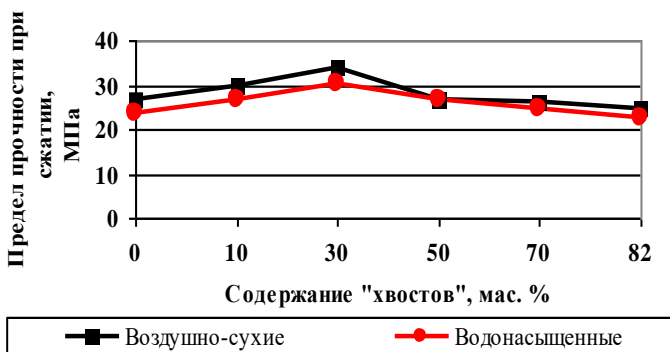


Рис. 1 Предел прочности при сжатии

Коэффициент размягчения примерно одинаков в составах с содержанием «хвостов» до 30 мас. % и составляет 0,87–0,90, что свидетельствует о высокой водостойкости силикатных материалов.

Радиационно-защитные свойства определяли по результатам измерения линейного и массового коэффициента ослабления излучения для исследуемых материалов, представленным в табл.

Таблица – Радиационно-защитные свойства силикатных материалов на основе «хвостов»

Содержание «хвостов», масс. %	$\rho$ , г/м <sup>3</sup>	$d$ , см	$I_0$ , мкЗв/ч	$I_i$ , мкЗв/ч	$\mu$	
					$\mu$ , см <sup>-1</sup>	$\mu_m$ , см <sup>2</sup> /г
0	1,875	0,62	46,2	31,50	0,617729	0,329455
10	1,920	0,60		31,60	0,633038	0,336901
30	1,939	0,58		31,90	0,638575	0,329332
50	1,939	0,58		31,90	0,638575	0,329332
60	1,964	0,58		31,85	0,641280	0,326517
82,77	1,962	0,68		29,6	0,654710	0,333700

Для контрольных материалов значения линейного и массового коэффициента ослабления составляют, соответственно, 0,617729 см<sup>-1</sup> и 0,329455 см<sup>2</sup>/г. С увеличением содержания хвостов до 82,77 мас. % эти значения возрастают и достигают максимального значения, соответственно, до 0,643988 см<sup>-1</sup> и 0,326069 см<sup>-1</sup>.

Следовательно, «хвосты» пригодны в качестве сырья для получения автоклавных силикатных материалов, обладающими повышенными радиационно-защитными свойствами.

Таким образом, установлена возможность использования отходов мокрой магнитной сепарации железных руд для получения силикатных материалов автоклавного твердения с повышенными радиационно-защитными свойствами. При этом обеспечивается повышение физико-механических свойств изделий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

2. 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.

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

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

7. 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.

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

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

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

11. 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.

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

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

14. 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.

15. Володченко А.Н., Лесовик В.С. Силикатные материалы автоклавного твердения на основе алюмосиликатного сырья как фактор оптимизации системы «человек-материал-среда обитания» // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 3. С. 27-33.

16. 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.

17. Volodchenko A.A., Lesovik V.S., Zagorodnjuk L.H. Volodchenko A.N., Kuprina A.A. The Control of Building Composite Structure Formation Through the Use of Multifunctional Modifiers // Research Journal of Applied Sciences. 2016. Т. 10. № 12. С. 931-936.

18. 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.

19. Володченко А.Н. Особенности взаимодействия магнезиальной глины с гидроксидом кальция при синтезе новообразований и формирование микроструктуры // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 2. С. 51-55.

20. 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.

*УДК 666.942*

*Крайненко В.В., Мошков И.П., Гончаров А.А.*

*Научный руководитель: Коновалов В.М., канд. техн. наук, доц.*

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

## **ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ВОДОУДЕРЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ГИПСОВЫХ ФАЗ**

На сегодняшний день высокое водоотделение 28-32% цементов является одной из главных проблем в цементной промышленности. Расслоение цементного теста значительно снижает строительно-технические свойства бетонов и цементного камня. Водоотделение цемента является не до конца изученным процессом и требует дополнительного исследования в этой области. Литературные данные, связанные с исследованием седиментационной устойчивости цементно-водных дисперсных систем, достаточно противоречивы и не дают четкого представления о характере разделения воды затворения и механизмах ее удаления. [2].

**Целью работы** является исследование водоудерживающей способности цемента с добавлением в клинкер гипса, ангидрида и алебаstra, а также влияние удельной поверхности цемента на процесс водоотделения.

### **Задачи работы:**

1..Изучить влияние различных видов гипса на водоудерживающую способность цементов

2.Изучить процесс тепловыделения на начальные сроки твердения с добавками различного вида гипса

3. Оценить влияние тонкости помола цементов на процессы водоотделения.

Приступая к работе, мы опираемся на методику определения отслаивания воды в цементном тесте ГОСТ 310.6-85 с соотношением цементный порошок : вода 1:1, в цилиндре емкостью 1 л [3]. Мы видоизменили методику, проведя сравнительные эксперименты в цилиндриках объемом 50 мл.

Для эксперимента отвешивали 25 г клинкера и 25 мл воды. В цилиндры с водой высыпали добавку гипса, ангидрида и алебаstra. Воду объемом 15 мл вливаем в фарфоровый стакан, затем в стакан в течение 1 мин высыплют навеску цемента, непрерывно перемешивая содержимое металлическим шпателем 4 мин, и осторожно переливаем в градуированный цилиндр. Цементное тесто, оставшееся на шпателе, дне и стенках фарфорового стакана, смывают в тот же цилиндр остатком воды 10 мл. После этого цилиндр с цементным тестом, для достижения хорошего перемешивания цемента с водой, 10 раз медленно переворачивают вверх дном, закрывая отверстие рукой. Цилиндр ставят на стол и тотчас же отсчитывают объем цементного теста. В течение всего времени испытаний цилиндр должен стоять неподвижно и не подвергаться толчкам и встряхиваниям. Наблюдения за динамикой осаждения столба раствора протекает впервые 30-40 минут, далее практически водоотделение не происходит. Высоту столба осветленной жидкости (мм) отмечаем через каждые 5 минут после первого отсчета в течение часа и через каждые 30 мин при дальнейших наблюдениях. При совпадении двух последних отсчетов дальнейшее наблюдение прекращают.

Аналогичным образом проводятся исследования водоотделения цементов только, добавляя гипс, алебастр и ангидрид. На Рис.1 представлена динамика водоотделения цемента белгородского завода с различными добавками гипса.

Приведенные результаты показывают значительное влияние вида гипса на показатель водоотделение цементов. Замена добавки природного гипса на ангидрид или алебастр снижает водоотделение на 33-38% соответственно. При этом основной период водоотделения длится в течении первых 15-20 минут, после чего система стабилизируется.

Изучая процессы гидратации цементов, следует уделять внимание термохимическим процессам, происходящими в цементном тесте в самый начальный период их взаимодействия с водой. Наиболее подходящим в этом отношении является определение тепловыделения, которое проводилось с использованием изотермического калориметра немецкой фирмы NONICAL.

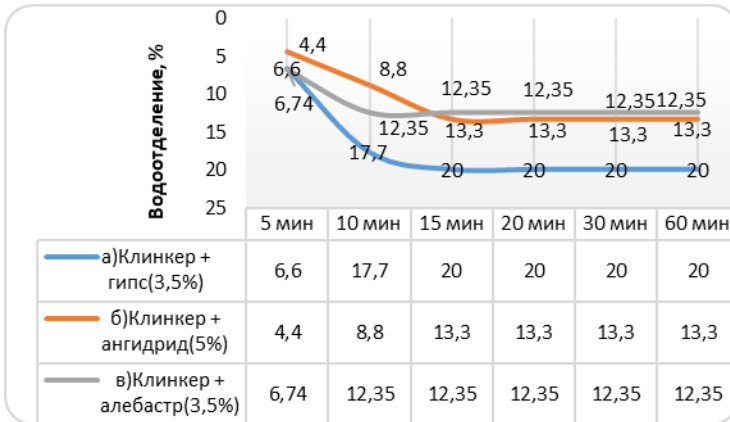


Рис. 1 Динамика водоотделения клинкера ЗАО «Белгородский цемент» с удельной поверхностью  $310 \text{ м}^2/\text{кг}$  с различными видами гипса (3,5% по  $\text{SO}_3$ ): а)гипс; б)ангидрид; в)алебастр

### Сравнительные показатели по тепловыделению цементов

Количество тепла, выделившегося при гидратации цементов, приведено на рисунках 2.1.-2.3.

Результаты тепловыделения указывают, что самое большое количество тепла суммарно за 72 часа выделилось при гидратации цемента с добавкой ангидрида (285Дж\г).

Суммарное тепловыделение за этот же период в цементах с добавкой гипса и полугидрата сульфата кальция не превысило 280 Дж\г. Наибольшее количество тепла выделяется в первые сутки твердения через 4 часа затворения цемента водой. Представляет значительный интерес выделения тепла в самый начальный период контакта с водой. На Рис.3 приведена зависимости тепловыделения в первые 30 мин гидратации. Из которых следует, что максимальной скоростью тепловыделения обладают цементы с добавкой алебастра.

По количеству тепла, выделившегося в течение 15 мин от начала затворения цементов, можно судить об их водоудерживающей способности, поскольку большое тепловыделение в период хемосорбции воды на поверхности цемента связано с высокой активностью клинкерных фаз. Например, интенсивная гидратация алюминатной или гидросиликатной фазы.



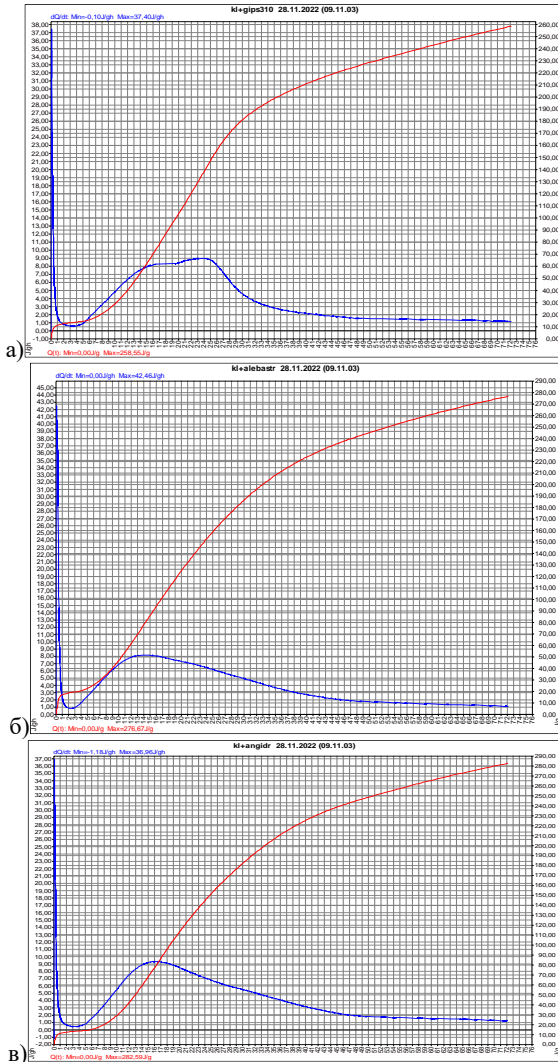


Рис. 2 Кривые изотермического тепловыделения:

- а) Смеси клинкера ЗАО «Белгородский цемент» с алебастром при удельной поверхности  $310 \text{ м}^2/\text{кг}$  ( $V/O = 13,5\%$ );
- б) смеси клинкера ЗАО «Белгородский цемент» с ангидридом (3,5%), при удельной поверхности  $310 \text{ м}^2/\text{кг}$  ( $V/O = 12,3\%$ );
- в) смеси клинкера ЗАО «Белгородский цемент» с двухводным гипсом при удельной поверхности  $310 \text{ м}^2/\text{кг}$  ( $V/O = 20,3\%$ )

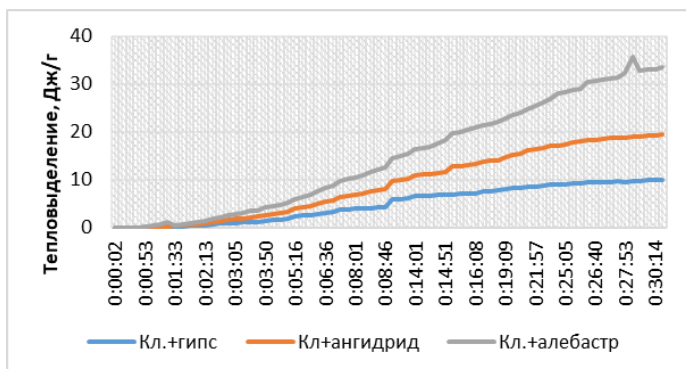


Рис. 3 Диаграмма зависимости тепловыделения клинкера ЗАО «Белгородский цемент» в начальные сроки твердения 30 мин с добавками: гипса(3,5%), ангидрида(3,5%) и алебастра(3,5%).

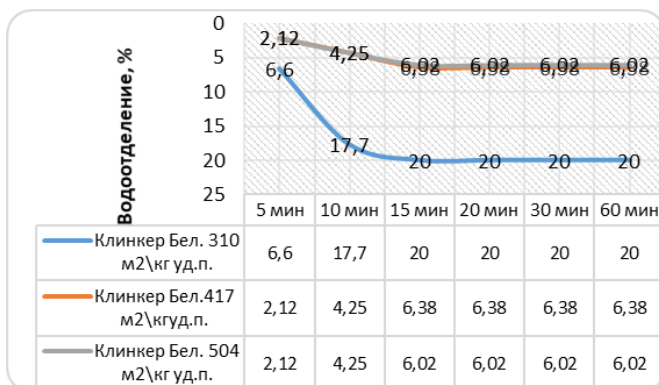


Рис. 4 Диаграмма влияния увеличения удельной поверхности на водоотделение клинкера ЗАО «Белгородский цемент»

Вывод:

1. Процессы водоотделения до стабилизации системы протекают в относительно короткий период времени в количестве 15-20 мин, что согласуется с анализом выделения тепла в первые 30 мин гидратации цемента.

2. Более эффективным приемом снижения водоотделения является тонкий помол цемента. При изменении удельной поверхности с 300 до 500 м<sup>2</sup>/кг уменьшается в два раза.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Людвиг У. Исследование механизма гидратации клинкерных минералов // Шестой Международный конгресс по химии цемента. Труды. – М.: Стройиздат, 1976. – Т.2. – Кн. 1 – С. 104–121.
2. Нормантович А. С. Регулирование процесса водоотделения цементно-водных дисперсных систем // Диссертация, 2005
3. ГОСТ 310.6-85 «Цементы. Метод определения водоотделения»
4. Лохер Ф.В., Рихартц В. Исследования механизма гидратации цемента // Шестой Международный конгресс по химии цемента. Труды. – М.: Стройиздат, 1976. – Т.2. – Кн. 1 – С. 122–123.
5. Коновалов В.М., Харьков В.О., Нормантович А.С., Влияние фосфогипса на водоудерживающую способность цементов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. №10. С. 309-314.

УДК 666.942.82

*Крапивин С.Н., Куликов А.В., Лопарев А.С.  
Научный руководитель: Ковалев С.В., ст. преп.  
Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

### **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВВОДА МИНЕРАЛИЗАТОРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЛОГО ЦЕМЕНТА**

Белый цемент – гидравлическое вяжущее, при производстве которого к сырью предъявляются высокие требования – содержание оксида железа ( $\text{FeO}$  ограничено не более 0,5%), а также других окрашивающих оксидов ( $\text{Mn}_2\text{O}_3 < 0,15\%$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 0,01\%$  и  $\text{MgO} < 3\%$ ).

Количество месторождений сырьевых компонентов с подходящим химическим составом ограничено. С течением времени происходит их выработка и опустошение. Не редко производство белого цемента так же сталкивается с другими проблемами связанные с его производством, удельный расход топлива выше чем при производстве серого цемента, не имеется классических клинкерных холодильников, что в купе со всеми отрицательными недостатками увеличивает себестоимость белого цемента. А так же при производстве клинкера во вращающейся печи происходит непрерывный кругооборот щелочных окислов, способствующий к сохранению значительного количества щелочесодержащих фаз.

Поэтому возникает необходимость решения всех этих проблем, на кафедре ТЦКМ был предложен ввод минерализатора отдельным способом [1]. Данный способ заключается во введении минерализатора в определенную температурную зону, в которой он более эффективен. Но оптимальная температура ввода не была изучена, как и влияние на характеристики белого цемента.

**Характеристика сырьевых материалов и методов исследования.** Исследования проводились с десятью цементами полученных в лабораторных условиях. Для их производства использовались следующие сырьевые компоненты: Мел Белгородского месторождения и каолин месторождения Журавлиного лога (табл. 1).

Таблица 1 – Химический состав сырьевых компонентов и смеси на их основе

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Проч.
Мел	1,86	0,38	0,14	54,74	0,23	0,01	0,08	42,40	0,13
Каолин	67,10	21,70	1,22	0,49	0,03	0,03	0	7,16	1,91
Сырьевая смесь	14,55	4,53	0,35	44,2	0,20	0,02	0,06	35,58	0,53
Клинкер	22,59	7,03	0,54	68,7	0,31	0,03	0,09	-	0,82
Модульные характеристики сырьевой смеси				КН=0,90		n=2,98		p=13,02	

Исследовались составы с содержанием оксида железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 0,54 и 0,7%. Для получения составов с содержанием оксида железа 0,7% исходная смесь корректировалась реактивом Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, в которые впоследствии был введен минерализатор. Обжиг сырьевых смесей осуществлялся в лабораторной силитовой печи со скоростью нагрева 10°С в минуту.

Для моделирования циркуляции солей щелочных металлов во вращающейся печи использовали реактив квалификации «ч» Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> в количестве 1,2% Na<sub>2</sub>O с по клинкеру. Минерализатор 2C<sub>2</sub>S·CaF<sub>2</sub> получен из реактивов квалификации «ч» CaCO<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> и CaF<sub>2</sub> путем обжига при температуре 980°С в лабораторной муфельной печи.

Минерализатор был введен отдельным способом в количестве 8,11% по клинкеру.

Моделирование отдельного ввода осуществлялось следующим образом:

1) подготовленные сырьевые смеси с введенным в них  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  были обожжены при температурах ввода минерализатора  $1100^\circ\text{C}$ ,  $1200^\circ\text{C}$ ,  $1250^\circ\text{C}$ ;

2) далее обожжённые спеки измельчались и в каждый из них вводили минерализатор;

3) полученные составы возвращали в разогретую до температуры ввода минерализатора в печь и обжигали при температуре  $1300^\circ\text{C}$  и времени изотермической выдержки 1 час. Обжиг образцов контрольного клинкера происходил при температуре  $1450^\circ\text{C}$  выдержка 2 часа.

Для всех образцов клинкера использовалось водное охлаждение.

Свободный оксид кальция определялся этилово-глицератным методом [2]. Для определения (КО) был использован лабораторный прибор РЗ-БПЛ-ЦМ.

Измельчение клинкера осуществлялось в керамической мельнице с керамическими мелющими телами до удельной поверхности  $450 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Гипс добавлялся в каждый состав в 5%-ом содержании от массы.

Для определения предела прочности при сжатии изготавливались из теста нормальной плотности кубики размером  $1,41 \times 1,41 \times 1,41$  см. Водоцементное отношение составляло 0,3.

По истечении срока хранения 2 и 28 суток образцы подвергались физико-механическим испытаниям на прессе ПСУ - 10.

**Результаты и их обсуждение.** При обжиге были получены образцы (табл.2).

Таблица 2 – Характеристика образцов клинкера

№	Название	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ , %	Темп. ввода мин. $^\circ\text{C}$	Темп. обжига, $^\circ\text{C}$	CaO св, %	КО- клинкера, %
1	Контрольный клинкер	0,54	-	1450	1,9	69
2	Контрольный клинкер +1,2% $\text{Na}_2\text{O}$	0,54	-	1450	2,7	68
3	Исследуемый клинкер 1,2% $\text{Na}_2\text{O}$ +8,11% $2\text{C}_2\text{S} \cdot \text{CaF}_2$	0,54	1100	1300	1.7	87
4	Исследуемый клинкер 1,2% $\text{Na}_2\text{O}$ +8,11% $2\text{C}_2\text{S} \cdot \text{CaF}_2$	0,54	1200	1300	1.27	85
5	Исследуемый клинкер 1,2% $\text{Na}_2\text{O}$ +8,11% $2\text{C}_2\text{S} \cdot \text{CaF}_2$	0,54	1250	1300	3	84
6	Контрольный клинкер	0,7	-	1450	2,7	65

7	Контрольный клинкер +1,2% Na <sub>2</sub> O	0,7	-	1450	2,5	64
8	Исследуемый клинкер 1,2% Na <sub>2</sub> O+8,11% 2C <sub>2</sub> S·CaF <sub>2</sub>	0,7	1100	1300	1.8	85
9	Исследуемый клинкер 1,2% Na <sub>2</sub> O+8,11% 2C <sub>2</sub> S·CaF <sub>2</sub>	0,7	1200	1300	0.55	83
10	Исследуемый клинкер 1,2% Na <sub>2</sub> O+8,11% 2C <sub>2</sub> S·CaF <sub>2</sub>	0,7	1250	1300	1.1	82

При увеличении температуры ввода минерализатора происходит снижении белизны, данное явление наблюдается так же на составах с повышенным содержанием оксида железа. Наиболее большим коэффициентом отражения обладает исследуемый клинкер состав №3 при температуре ввода 1100 °С и содержанием оксида железа 0,54% (КО = 87%), что на 18 % выше чем у контрольного клинкера состав №1 (КО=69%), (табл.2). Так же необходимо отметить, что при данной температуре ввода минерализатора, исследуемый клинкер с содержанием оксида железа 0,7% состав №8 имеет белизну 1го сорта (КО=85%) согласно ГОСТу [3].

Однако наибольший интенсифицирующий эффект достигается при температуре ввода минерализатора 1200°С состав №9 (СаО<sub>св</sub>=0,55%). В виду того что образцы обладают относительно высоким содержанием свободного оксида кальция, помол осуществлялся до удельной поверхности 450 м<sup>2</sup>/кг.

В (табл.3) предоставлено общее время помола контрольных клинкеров и клинкеров полученных путем отдельного ввода минерализатора.

Таблица 3 – Влияние температуры ввода минерализатора на время помола клинкера белого цемента

№	Название	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Темп. ввода мин. °С	Время помола, мин	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг
1	Контрольный клинкер	0,54	-	150	446
2	Контрольный клинкер +1,2% Na <sub>2</sub> O	0,54	-	180	450
3	Исследуемый клинкер 1,2% Na <sub>2</sub> O+8,11% 2C <sub>2</sub> S·CaF <sub>2</sub>	0,54	1100	40	450
4	Исследуемый клинкер 1,2% Na <sub>2</sub> O+8,11% 2C <sub>2</sub> S·CaF <sub>2</sub>	0,54	1200	45	435

5	Исследуемый клинкер 1,2% Na <sub>2</sub> O+8,11% 2C <sub>2</sub> S·CaF <sub>2</sub>	0,54	1250	50	439
6	Контрольный клинкер	0,7	-	190	466
7	Контрольный клинкер +1,2% Na <sub>2</sub> O	0,7	-	170	435
8	Исследуемый клинкер 1,2% Na <sub>2</sub> O+8,11% 2C <sub>2</sub> S·CaF <sub>2</sub>	0,7	1100	40	460
9	Исследуемый клинкер 1,2% Na <sub>2</sub> O+8,11% 2C <sub>2</sub> S·CaF <sub>2</sub>	0,7	1200	47	440
10	Исследуемый клинкер 1,2% Na <sub>2</sub> O+8,11% 2C <sub>2</sub> S·CaF <sub>2</sub>	0,7	1250	45	446

Время, затраченное на помол клинкера с минерализатором практически в 3 раза меньше чем при помоле контрольного клинкера. Удельной поверхности в 450 м<sup>2</sup>/кг удалось достигнуть в пределах 40-50 минут измельчения, у контрольных образцов данного показателя удалось добиться спустя 150-190 минут измельчения. Ввиду снижения времени на помол клинкера следует заключить, что ввод минерализатора 2C<sub>2</sub>S·CaF<sub>2</sub> отдельным способом позволяет значительно снизить расход электроэнергии при помоле клинкера белого цемента.

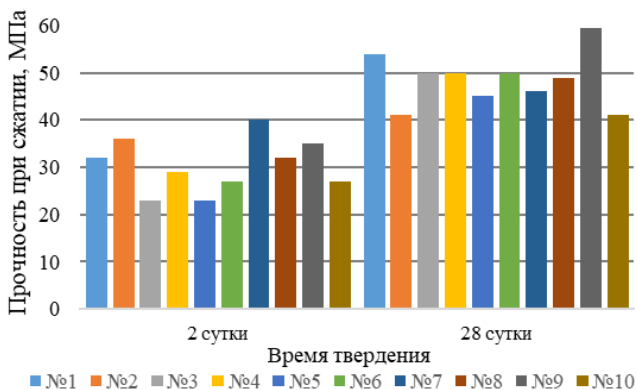


Рис. 1 Сравнение результатов испытаний прочность на сжатие контрольного клинкера и клинкера, полученного путем раздельного ввода минерализатора, 2е и 28 сутки.

№1- Контр. клин. 0,54%; №2- Контр. клин. +1,2% Na<sub>2</sub>O 0,54%; №3- ввод мин. при 1100°С 0,54%; №4-ввод мин при 1200°С 0,54%; №5-ввод мин. при 1250°С 0,54%; №6- Контр. клин. 0,7%; №7- Контр. клин. +1,2% Na<sub>2</sub>O 0,7%; №8- ввод мин. при 1100°С 0,7%; №9- ввод мин при 1200°С 0,7%; №10- ввод мин. при 1250°С 0,7%.

По результатам испытаний прочности на сжатие контрольных клинкеров и исследуемых клинкеров, на вторые сутки (рис.1) все составы достигли отметки более 19,5 МПа. Наиболее высокие показания выражены в контрольных клинкерах с содержанием  $\text{Na}_2\text{O}$ : состав №7 (40 МПа) и состав №2 (36 МПа). Данное выражение значений объясняется тем, что в начальные сроки твердения щелочные соединения увеличивают прочностные характеристики цемента [4-6].

Согласно испытаниям прочности на сжатие, на двадцать восьмые сутки (рис.1) все исследуемые составы достигли показаний более 39,2 МПа. Состав №9 имеет наибольшую прочность при температуре ввода минерализатора 1200 °С и содержанием оксида железа 0,7% - 59,4 МПа, выше контрольного на 13 МПа (состав №7-46 МПа). Значение 59,4 МПа соответствует марки цемента 500. При данной температуре ввода минерализатора состав №4 с содержанием оксида железа 0,54% так же показал положительный результат 50 МПа.

Раздельный ввод минерализатора  $2\text{C}_2\text{S}\cdot\text{CaF}_2$  способствует в решении возникающих проблем при производстве белого цемента. Дает возможность расширить сырьевую базу используя менее качественное сырье – при температуре ввода минерализатора 1100°С и при содержании оксида железа 0,7% удалось получить образец сортовой белизны (КО=85%) 1 сорта. Уменьшает удельный расход топлива – при температуре обжига 1300°С содержание свободного оксида кальция в исследуемых образцах ниже, чем при температуре обжига 1450°С, а также уменьшает время и расход электроэнергии при помол клинкера в мельнице – время, затраченное на помол составов с раздельным вводом минерализатора в 3 раза меньше, чем при помол клинкера полученным традиционным способом.

#### **Выводы:**

1. Характеристики клинкера при вводе минерализатора находятся в зависимости от температуры его ввода.

2. При вводе минерализатора достигается получение клинкера 1-го сорта, даже при содержании оксида железа 0,7% (КО=85). Контрольный клинкер содержащий такое же количество оксида железа сортовой белизны не достигает (КО=67-68).

3. Наибольшей скоростью усвоения свободного оксида кальция наблюдается при температурах ввода минерализатора в интервале 1100-1250°С.

4. При раздельном вводе минерализатора наилучшие прочностные характеристики наблюдаются при температуре ввода минерализатора 1200°С.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мишин, Д. А. Причина снижения эффективности действия минерализаторов обжига портландцементного клинкера / Д. А. Мишин, С. В. Ковалев, В. Г. Чекулаев // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 5. – С. 161-166. – EDN VTKBOT.
2. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяж. веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.С. Савельев. - М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.
3. Дуда В. Цемент / Пер. с нем. Е.Ш. Фельдмана; Под ред. Б. Э. Юдовича. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
4. Капан, М. Циркуляционные явления при обжиге клинкера. Часть I / М. Капан // Цемент и его применение. – 2017. – № 5. – С. 44-49. – EDN YMTKWY.
5. Enders M. Reactions of alkalis, chlorine and sulfur during clinker production / M. Enders, U. Haeseli //Cement International. - 2011. - № 3. - Pp.38-53.
6. Лугинина И. Г. Клинкeroобразование во вращающихся печах при получении портландского и специальных цементов [Текст]: учебное пособие/И.Г. Лугинина, Т.В. Кузнецова. М.: МИСИ: БТИСМ им. И.А. Гришманова, 1986. - 91с.

**УДК 666.765**

**Кузин Е.Н.**

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
г. Москва, Россия*

## **СИНТЕЗ ТИТАНАТОВ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Резкий рост промышленного производства диктует необходимость в поиске новых материалов и технологий. Строительная индустрия, а также связанные с ней отрасли несмотря на кажущуюся простоту являются не менее науко- и ресурсоемкими, а по отдельным направлениям могут легко опередить такие направления как нефтехимия или фармацевтика.

Наиболее ярким примером подобного инновационного направления является производство и применение керамических композиционных материалов с аномальными коэффициентами

теплового расширения, нашедших широкое применение в качестве материала для теплоизоляционных и температурозащитных конструкций [1-2]. Типичным примером подобного материала является титанат алюминия, спрос на который со стороны керамической (силикатной) промышленности постоянно возрастает [3-4], а значит становится актуальной задача разработка новых технологий его энерго- и ресурсоэффективного производства.

Традиционно для получения титаната алюминия применяют термохимический синтез из чистых оксидов, что негативно сказывается на стоимости получаемого материала.

Основной целью данной работы является оценка возможности получения титанатов алюминия в процессе пирометаллургической переработки кварц-лейкоксового концентрата – крупнотоннажного отхода процессов добычи нефти на Ярегском нефтетитановом месторождении.

Выбор титаносодержащего сырья обусловлен его огромными запасами (более 250 млн. тонн) и отсутствия экономически обоснованной промышленной технологии его переработки [5-6].

Исследование состава исходного кварц-лейкоксового концентрата и полученного образца титаната алюминия проводили методами рентгенофлуоресцентного анализа на энергодисперсионном спектрометре для электронно-зондового микроанализа SSD X-Max Inca Energy (Oxford Instruments, Великобритания) в составе сканирующего электронного микроскопа JEOL 1610LV (JEOL, Япония) и рентгенофазового анализа (ДРОН 3 Н, Россия).

Пирометаллургическую обработку стехиометрической смеси кварц-лейкоксового концентрата и оксида алюминия (реакция 1) термообработывали в муфельной печи, при температуре 1550 °С в течение 4-х часов.



Состав кварц-лейкоксового концентрата представлен в таблице.

Таблица - Химический состав КЛК, %

TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Др. примеси
42,1	49,1	0,6	1,7	0,9	5,6

Из данных таблиц видно, что в составе кварц-лейкоксового концентрата соотношение оксидов кремния и титана близко к эквимолярному, при этом в процессе пирометаллургической конверсии высвобождаемый из связанного состояния диоксид кремния теоретически может быть удален процессами селективной флотации.

Фазовый состав образца полученного в процессе пирометаллургической переработки кварц-лейкоксенового концентрата в присутствии оксида алюминия представлен на дифрактограмме (рис. 1).

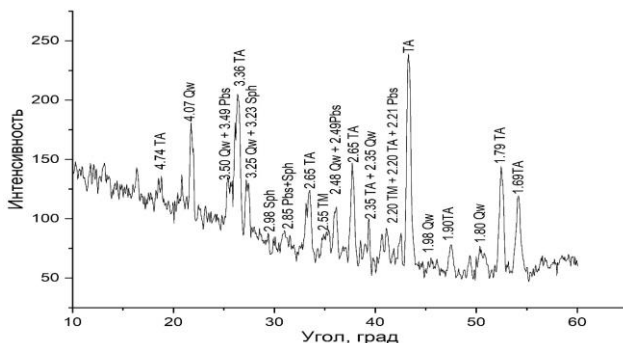


Рис. 1 Фазовый состав образцов кварц-лейкоксеновый концентрат- $\text{Al}_2\text{O}_3$   
 TA – Титанат алюминия; Qw – Кварц; Pbs – Псевдобрукит; TM - Титанат магния; Sph –Титанит

Из данных дифрактограммы рис. 1 видно, что в процессе пирометаллургической переработки диоксид титана количественно переходит в фазу титаната алюминия. Помимо основной фазы титана алюминия в продукте идентифицированы примеси сфена и титанатов магния, что объясняется реакциями между примесными компонентами в составе кварц-лейкоксенового концентрата.

На основании полученных в результате работы данных был сделан вывод о возможности переработки кварц-лейкоксенового концентрата Ярегского нефтетитанового месторождения в ценный товарный продукт – титанат алюминия.

Полученный титанат алюминия помимо использования в качестве компонента керамики и материала с аномальными теплотехническими свойствами может быть использован в качестве сырья для получения комплексных титансодержащих коагулянтов для очистки сточных вод сложного состава [7].

*Работа выполнена в рамках программы поддержки молодых ученых-преподавателей РХТУ им. Д. И. Менделеева (ВИГ\_2022\_009)*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Xu G. Preparation of porous  $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ -Mullite ceramic by starch consolidation casting and its corrosion resistance characterization / G. Xu, Z.

Chen, X. Zhang, H. Cui, Z. Zhang, X. Zhan // *Ceramics International*. - 2016. V. 42, Iss. 12. – P. 14107-14112.

2. Турдиев Д. Ш. Изучение термостойкости керамических изделий для использования в стекловарении // *Новые огнеупоры*. - 2013. - В:3. - С:157-159.

3. Kim I. J. Review Formation, Decomposition and Thermal Stability of  $Al_2TiO_5$  / I. J. Kim, L.G. Gauckler // *Journal of Ceramic Science and Technology*. - 2012. V. 3, Iss. 2. - P. 49–60.

4. Кузин Е. Н. Оценка возможности использования лейкоксен-кварцевого концентрата в качестве сырья для получения титанатов алюминия и магния / Е. Н. Кузин, И. Г. Мокрушин, Н. Е. Кручинина // *Записки Горного института*. - 2023. - С. 1-9 (online).

5. Кузин Е. Н. Исследование процесса термической обработки кварц-лейкоксенового концентрата / Е. Н. Кузин, И. Г. Мокрушин, Н. Е. Кручинина // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. - 2023. - № 2. - С. 30–42.

6. Анисонян К. Г. Термическая обработка лейкоксенового концентрата с получением титансодержащих фаз с магнитными свойствами // *Перспективные материалы. Спец. выпуск*. – 2007. – С. 355-359.

7. Кузин Е. Н. Титансодержащие коагулянты в процессах очистки хозяйственно-бытовых сточных вод // *Вода и экология: проблемы и решения*. - 2020. - № 4 (84). - С. 16-23

**УДК 666.123**

**Лазарова Ю.С.**

**Научный руководитель: Онищук В.И., канд. техн. наук, проф.**

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

## **НОВОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОВОЛОКНА**

Рынок стеклянных волокон на сегодняшний день является высокоразвитой перспективной отраслью, а стекловолокно высоколиквидной продукцией. Общий суммарный объем производства стекловолокна в натуральном выражении в 2021 году составил около 130 тыс. т, а в дальнейшем среднегодовой темп роста рынка стекловолокна прогнозируется в 5,5% [1].

Стеклянные волокна используется практически во всех отраслях промышленности от техники, используемой для исследования мирового

океана, до космоса, в том числе и в стратегически важных отраслях. Например, стеклянные волокна, выпускаемые АО «НПО Стеклопластик» эксплуатируются в таких боевых комплексах, как «Булава», «Тополь-М», «Ярс», «Синева», «Искандер», «Панцирь-С», «Хризантема», на вертолетах Ми-26, Ми-28 «Ночной охотник», в подводной и надводной технике нового поколения классов «Борей», «Ясень», фрегатах проекта 22350 («Адмирал Касатонов») [2].

Сегодня большой спрос стеклянных волокон наблюдается в области композитных материалов, ветроэнергетики, труб и резервуаров, а также строительных и инфраструктурных проектах. Применение стеклопластиковой арматуры для армирования фундаментов, бетонных конструкций почти полностью заменило арматуру из стали, зарекомендовав себя относительно небольшой плотностью, высокой прочностью, устойчивостью к коррозии и т.д.

Мировая потребность в стекловолокне неуклонно растет, следовательно, растет и потребность в сырьевых материалах. И если для особых составов стекловолокон использование традиционного сырья экономически и технологически оправдано, то в производстве стекловолокна обычных составов вполне рационально использовать отходы различных производств и вторичные продукты, количество которых на сегодняшний день в отвалах накопилось такое, что их уже можно считать самостоятельными источниками сырья техногенного происхождения.

Анализ отходов и вторичных продуктов силикатного состава позволил выявить ряд перспективных в технологическом плане источников происхождения такого сырья. Первое – зола-уноса ТЭС, образующаяся при генерации тепла на теплоэлектростанциях, второе – отходы производства кремнеземных стеклянных волокон (СТВ).

Зола-уноса является алюмосиликатным сырьем, химический состав, которой близок к химическому составу стеклянных волокон типа E, S (таблица 2). Следовательно, она может использоваться в качестве базового компонента шихты и позволит снизить потребность применения традиционного природного сырья, такого как кварцевый песок, технический глинозем или полевошпатовый концентрат. В конечном счете, применение золы-уноса позволит не только улучшить экономическую составляющую производства стекловолокон, но и обеспечит сокращение площадей, занимаемых отвалами золы-уноса, следовательно, позволит решать вопросы, которые сегодня являются экологически важными.

Примеров использования отходов производства специального кремнеземного стекловолокна (СТВ) до настоящего времени не имеется, и они подвергаются захоронению на полигонах.

Химический состав традиционных стеклянных волокон типа Е (электротехническое) и S (высокомодульное), золы уноса и кремнеземного стеклянного волокна, представлен в таблице 2 [3].

Таблица 1 – Химический состав стекловолокон типа Е, С, СТВ и золы-уноса

Тип стекла	Содержание оксидов, мас.%							
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
Е	52-60	12-16	0,4	0-6	16-25	0-2		-
S	60-65,5	23-35	0,01	6-11	0-9	0-0,1		-
Зола-уноса	61,40	26,69	6,81	0,63	2,38	0,26		1,15
СТВ	95,75-96,80	3,10-3,35	0,05-0,15			0,05-0,75		-

Как известно из теории и практики производства стекловолокна, не все составы стекол пригодны для его выработки, так, помимо химического состава, определяющего физико-механические свойства, стекло должно иметь определенные технологические (выработочные) характеристики. Эти характеристики определяют успешность формирования элементарных волокон, а именно: логарифм вязкости стекломассы при выработке должен быть в пределах от 2,8 до 3,0, а температура соответствующая этой вязкости должна быть как минимум на 40 °С выше, чем температура верхнего предела кристаллизации (появление первых кристаллов) во избежание высокой обрывности в процессе выработки и снижения прочностных характеристик готовой продукции.

Экспериментально определенные свойства синтезированных стекол и их реологические характеристики [5, 6], показали схожесть со значениями, определяющими успешную выработку из них стекловолокна, что подтверждает правильность выбранных вещественных составов шихт, полученных на основе новых видов сырья.

Для стекол промышленно используемых составов Е и S, вещественные составы шихт, полученные из традиционных материалов, представлены на рис. 1,а и 1, б.

На рис. 2,а и 2,б представлены вещественные составы шихт, в которых в качестве базовых использованы зола-уноса и отходы СТВ с подшихтовкой традиционными материалами.

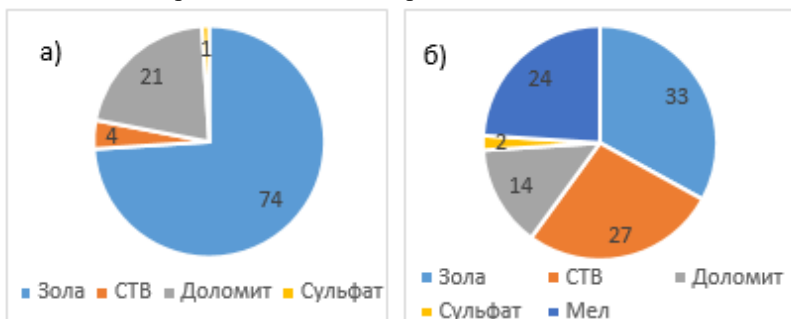


Рис. 1 Составы шихт для стекла типа S (а) и E (б) с использованием традиционного сырья (содержание материалов в мас. %)

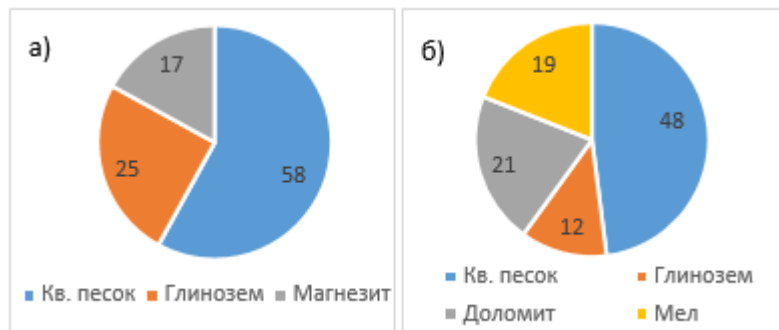


Рис. 2 Составы шихт для стекла типа S (а) и E (б) с использованием золы-уноса и СТВ (содержание материалов в мас. %)

Из диаграмм (рис. 1 и 2) видно, что применение нового сырья алюмосиликатного сырья полностью исключает использование дорогостоящих традиционных материалов кварцевого песка и глинозема. Из диаграмм наглядно видно, что в составах шихт для стекла S содержание золы-уноса достигает 74% (рис. 2, а), а в составе шихты для стекла E суммарное содержание золы-уноса и отходов стекловолкна – 60% (рис.2, б), что позволяет говорить о том, что новые виды сырья для производства составов стекла E и S являются базовыми.

В таблице 2 представлена стоимость сырьевых компонентов на 1000 кг стекла с использованием традиционных материалов и отходов производства с подшихтовкой.

Таблица 2 – Сравнение стоимости традиционных сырьевых компонентов и недефицитного сырья на 1000 кг стекла Е и S

Наименование сырья	Стоимость, руб/т*		Наименование сырья	Стоимость, руб/т*	
	S	Е		S	Е
Кварцевый песок	3480	2880	Зола-уноса	219	96
Глинозем	22500	10880	Отходы СТВ	80	540
Доломит	-	1334	Доломит	1334	953
Мел	-	3800	Мел	-	4800
Магнезит	9800	18814	Сульфат Na	340	340
Итого:	35780	33908	Итого:	1973	6729
* - стоимость приведена на конец 2022 - начало 2023 г.					

Как наглядно видно из табл. 2, удельная стоимость получения 1000 кг стекла на основе отходов золы-уноса с подшихтовкой отходами производства стекловолокна для состава S в 18 раз (!), а для состава S – в 5 раз.

Таким образом, использование отходов золы-уноса и отходов производства стекловолокон позволит не только снизить затраты на производство стекловолокна, но и пусть даже частично, но решать вопросы переработки отходов с получением высокотехнологичной продукции, снижая экологическую нагрузку от сокращения действия полигонов по захоронению этих отходов на территории нашей страны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рынок стеклорвинга: основные тенденции, влияние COVID-19 и прогнозы на 2022-2027 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://albionchem.ru/news/22115/\(02.04.2023\)](https://albionchem.ru/news/22115/(02.04.2023))

2. «НПО Стеклопластик»: у истоков целой отрасли [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL:<https://glavportal.com/materials/npo-stekloplastik-u-istokov-celoj-otrasli> (01.04.2023)

3. Пат. 2737438 Российская Федерация, МПК C03C 13/00. Способ получения высокотемпературостойкого кремнеземного волокна/И.А. Лавринович, Э.Н. Журба, А.Н. Трофимов, О.Ф. Бейнарович; заявитель и патентообладатель Акционерное общество "НПО Стеклопластик" № 2020120176, заявл. 18.06.2020; опубл. 30.11.2020, Бюл. № 34. 17 с.



4. Лазарова Ю.С. О возможности расширения сырьевой базы для производства стекловолокна // *Материалы XIV Международного молодежного форума*. Белгород, 2022. С. 25-33

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

6. Лазарова Ю.С. Моделирование составов стекол для непрерывного стекловолокна типа Е и S с применением в составе стекольных шихт золы-уноса Рефтинской ГРЭС и изучение процесса кристаллизации этих стекол // *Сборник статей II международного научно-исследовательского конкурса «Молодой ученый года 2022»*. МЦНС «Наука и просвещение», 2022, С. 40 – 47.

**УДК 543.632.54**

***Лозовая Ю.М.***

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

## **РАЗРАБОТКА КЛЕЕВОГО СОСТАВА ЭПОКСИДНОЙ КОМПОЗИЦИИ С УЛУЧШЕННЫМИ ФИЗИКО - МЕХАНИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

В современном мире сфера использования композиционных полимерных материалов постоянно увеличивается. Помимо эстетических требований, к полимерным покрытиям часто предъявляются требования стойкости материалов к различным средам. В настоящее время материалы на основе эпоксидных смол широко используются в области модификации полимерных матриц [1].

Эпоксидная смола представляет собой синтетический олигомер, содержащий эпоксидные группы. Очень важной характеристикой эпоксидных смол является содержание эпоксидных групп. Это свойство указывает на количество отвердителя, необходимое для отверждения смолы. Эпоксидные смолы характеризуются хорошей смачиваемостью и адгезией ко многим материалам, малой усадкой при отверждении. Кроме того, при их отверждении не выделяются летучие продукты, что значительно упрощает технологию.

Полимерные композиционные материалы на основе эпоксидных смол являются непревзойденными конструкционными материалами, они менее хрупкие, чем полимерные композиционные материалы на

основе фенолоформальдегидных смол, химически стойки к основаниям, окислителям, органическим растворителям, воде [2].

В качестве отвердителей в полимерных композициях предпочтительнее выбирать отвердители холодного отверждения, т.к. при использовании отвердителей горячего отверждения необходимо поддерживать определенную температуру в процессе нанесения, что не всегда удобно [3]. Отсюда следует, что производимый материал будет холодного отверждения. Наиболее часто для этих целей используют полиэтиленполиамин.

Полиэтиленполиамин проще в работе, застывает без повышенной температуры, что, несомненно, является его плюсом. Но при этом он, как и гексаметилендиамин, является токсичным, что нужно учитывать при работе с ним [4].

В качестве модификатора эпоксидного олигомера представляет интерес использование хризотилового волокна. Отличительными особенностями хризотила являются прочность, эластичность, исключительно высокая химическая и огнестойкость, отличные тепло- и звукоизоляционные свойства. Хризотил может расщепляться на волокна толщиной менее 0,5 микрометра, которые представляют собой кристаллы трубчатой или рулонной структуры. Другого материала с похожими свойствами в природе не существует. Попытки найти искусственный заменитель на сегодняшний день не увенчались успехом. Искусственные материалы имеют худшие физико-механические свойства и высокую себестоимость. Хризотил во многих отраслях промышленности по-прежнему остается вне конкуренции [5].

При изготовлении композиционных полимерных материалов специального назначения существенные преимущества по улучшению прочностных характеристик, повышению надежности и долговечности материалов, являются введение наполнителей.

Получение эпоксидной композиции с улучшенными физико-механическими свойствами провели в лабораторных условиях. Приготовили несколько составов и начали их подвергать различным испытаниям.

В пластмассовый стаканчик налили 5 г.эпоксидной смолы, добавили туда 5 г. отвердителя, равномерно перемешали. После чего добавили полиэтиленсилоксан в разном процентном соотношении: 0,5%, 1%, 1,5%. Соответственно в количестве 0,05г., 0,1г., 0,15г..Составы снова равномерно перемешали в течение нескольких минут, нанесли на деревянные брусочки и оставили на 24 часа при комнатной температуре.

В пластмассовый стаканчик налили 5 г. эпоксидной смолы, добавили туда 5г. отвердителя. Смесь тщательно перемешали. После этого добавили хризотиловое волокно в количестве 0,05г., 0,12 г., 0,15г. Снова перемешали смесь, нанесли на деревянные брусочки и оставили на 24 часа при комнатной температуре.

Для третьего состава использовался клей и отвердитель для древесины фирмы Bukoveldom. Клей и отвердитель использовали в количестве 5 грамм. Далее добавили в смесь пленкообразователь – 5%, 10%, 15%. Соответственно 0,25г., 0,5г., 0,75г. Смесь тщательно перемешали, нанесли на деревянные брусочки и оставили на 24 часа при комнатной температуре

Далее в соответствии с ГОСТ [6] провели испытания наших образцов в воде.

В результате испытаний в воде наиболее хорошо повел себя состав, состоящий из клея на основе поливинилацетата и отвердителя для древесины. Его вид не изменился в холодной воде при выдержке в 48 часов, в горячей воде при выдержке в 3 часа.

Клей на основе эпоксидной смолы, отвердителя и хризотилового волокна тоже не подвергся каким-либо изменениям.

Наиболее плохо показал себя клей на основе эпоксидной смолы, отвердителя и полиэтиленсилоксана. При количестве 0,5г. полиэтиленсилоксана в холодной воде произошло разрушение клеевого шва, остальные составы не изменились. А в горячей воде эпоксидная смола окрасила воду в желтый цвет.

В ходе испытаний пришли к выводу, что самые качественные образцы состоят из клея на основе эпоксидной смолы, отвердителя, хризотилового волокна и клей на основе поливинилацетата и отвердителя для древесины.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2013. 118 с.
2. Высокомолекулярные соединения : учебное пособие /М. В. Кузьмин [и др.] ; М-во образования и науки Рос. Федерации. - ФГБОУ ВПО «Чуваш. Гос. Ун-т им. И. Н. Ульянова» ; [отв. Ред. Н. И. Кольцов]. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. Гос. Ун-та. 2015 – 141 с.
3. Бобылев В.А., Филатова Е.А. Состояние производства и потребления эпоксидных смол и отвердителей в России // Сборник трудов. Тезисы докладов международной научно – технической

конференции «Современные достижения в области клеев и герметиков. Материалы, сырье, технологии». Н. Новгород: Гладкова О. В. 2013. С. 36-37.

4. Каблов В.Ф. Технология переработки полимеров: учебное пособие / В.Ф. Каблов, О.М. Новополецова, В.Г. Кочетков. Волгоград: ВолгГТУ.- 2018. 245 с.

5. Функциональные наполнители для пластмасс / [Г. Эштон и др.]; под ред. Марино Ксантоса ; пер. с англ. под ред.В. Н. Кулезнева. – Санкт-Петербург : Научные основы и технологии. - 2010 – 461 с.

6. ГОСТ 33120-2014.

**УДК 666.942.82**

*Лопарев А.С., Крапивин С.Н., Гостев Н.С.*

*Научный руководитель: Ковалев С.В., ст. преп.*

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

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ НА БЕЛИЗНУ КЛИНКЕРА БЕЛОГО ЦЕМЕНТА ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ ВВОДЕ МИНЕРАЛИЗАТОРА**

Производство белого портландцемента сопровождается высокими экономическими затратами в сравнении с обычным серым портландцементом. Главным условием производства белого портландцемента является ограничение на содержание закиси железа в клинкере не выше 0,5% [1]. Это приводит к более высокой температуре обжига в сравнении с серым портландцементом. Причиной этому является ухудшение спекаемости сырьевой смеси из-за низкого содержания минералов плавней.

Одним из методов облегчения процесса обжига клинкера является применение минерализаторов. Наряду с интенсификацией процесса обжига клинкера минерализаторы также влияют на его белизну. Увеличение или понижение белизны клинкера при вводе минерализаторов находится в зависимости от их вида и условий обжига [2].

Установлено, что интенсифицирующий эффект минерализаторов и их воздействие на белизну клинкера зависят от способа ввода минерализаторов в сырьевую смесь [3]. На кафедре ТЦКМ Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова был предложен минерализатор  $2\text{C}_2\text{S}\cdot\text{CaF}_2$ , а также способ

интенсификации обжига клинкера белого цемента путем отдельного ввода минерализатора [3,4].

Однако, влияние условий охлаждения при отдельном вводе и традиционном вводе (непосредственно в сырьевую смесь) минерализатора  $2C_2S \cdot CaF_2$  не было изучено. Таким образом, изучение влияния воздушного и водного охлаждения на белизну клинкера, полученного при вводе минерализатора  $2C_2S \cdot CaF_2$ , является целью данной работы.

**Характеристика исходных компонентов и методика проведения эксперимента.** Для достижения поставленных целей в качестве сырьевых компонентов использовался мел белгородского цементного завода и каолин месторождения Журавлиный лог. На основе этих двух компонентов составили сырьевую смесь, рассчитанную на получение клинкера для белого портландцемента с  $KH = 0,90$ ,  $n = 2,99$ ,  $p = 12,98$  с содержанием  $Fe_2O_3$  по клинкеру 0,54% (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика сырьевых компонентов и клинкера на их основе

Название	Химический состав, %						
	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	R <sub>2</sub> O	ППП
Мел	54,74	1,86	0,38	0,14	0,23	0,1	42,40
Каолин	0,49	67,10	21,70	1,22	0,03	1,91	7,16
Клинкер	68,60	22,54	7,01	0,54	0,31	0,70	–
Минералогический состав клинкера, %							
C <sub>3</sub> S		C <sub>2</sub> S		C <sub>3</sub> A		C <sub>4</sub> AF	
59,96		19,41		17,66		1,64	

В настоящее время во вращающихся печах присутствует явление циркуляции и накопления солей щелочных металлов [5]. Поэтому действие любого минерализатора нужно рассматривать в совокупности с ними. Для моделирования этого процесса в исходную сырьевую смесь вводили  $Na_2CO_3$  категории «Ч» в пересчете на  $Na_2O$  до общего содержания 1,2%  $R_2O$  в клинкере.

В качестве минерализатора использовали синтезированное соединение  $2C_2S \cdot CaF_2$ . Для его получения брали реактивы  $CaCO_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaF_2$  категории «Ч» и смешивали в стехиометрическом соотношении. Сырьевую смесь обжигали три раза в лабораторной муфельной печи при температуре 980°C и изотермической выдержке 1 час.

Минерализатор вводили традиционным способом – в исходную смесь и отдельным способом. Для моделирования отдельного ввода минерализатора образцы исходной сырьевой смеси обжигали при

температуре 1100°C с изотермической выдержкой 30 мин. После охлаждения и измельчения в них вводили минерализатор  $2\text{C}_2\text{S}\cdot\text{CaF}_2$ . Ввод минерализатора осуществлялся в количестве 8,11% сверх массы прокаленного материала. Из полученной смеси формовали таблетки массой 2 г и образцы возвращали обратно в печь при температуре 1100°C для дальнейшего обжига.

Обжиг сырьевых смесей проводили при температурах: 1250, 1300, 1350, 1400°C. Время изотермической выдержки 20 мин. При каждой контрольной температуре доставали по 2 таблетки одного и того же состава, одну охлаждали на воздухе, другую - в воде.

Для определения содержания свободного оксида кальция использовали этилово-глицератный метод [6].

В качестве критерия оценки белизны клинкера использовали параметр коэффициент яркости. Для определения коэффициента яркости использовали блескометр фотоэлектрический ФБ-2.

**Результаты и их обсуждение.** Проанализировав образцы полученного клинкера, было установлено, что характер влияния способа охлаждения на белизну клинкера во всем исследуемом температурном интервале одинаков. Поэтому рассмотрим образцы клинкера, полученные при температуре 1400°C, при которой наблюдаются наилучшие показатели усвоения свободного оксида кальция (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика обожженных образцов клинкера, % по абс. шкале

Параметр		1250°C		1300°C		1350°C		1400°C	
		КЯ	CaO	КЯ	CaO	КЯ	CaO	КЯ	CaO
Контрольн ый	Возд. охл.	93,8	32,1	93,8	24,6	90,0	16,9	85,9	12,4
	Вод. охл.	96,2	26,0	95,5	19,6	94,5	14,7	92,2	11,5
1,2%R <sub>2</sub> O	Возд. охл.	93,8	32,3	94,1	25,1	89,7	17,2	85,8	12,4
	Вод. охл.	96,0	25,6	95,8	20,3	94,9	15,3	92,0	12,0
+8,11%2C <sub>2</sub> S ·CaF <sub>2</sub> (трад.)	Возд. охл.	89,1	22,5	89,2	17,4	89,1	15,0	81,8	8,5
	Вод. охл.	95,0	20,3	96,4	14,9	96,8	8,3	89,2	7,9
1,2%R <sub>2</sub> O +8,11%2C <sub>2</sub> S ·CaF <sub>2</sub> (трад.)	Возд. охл.	-	-	90,8	17,8	87,9	11,5	82,0	8,9
	Вод. охл.	95,9	17,9	96,1	14,7	-	-	86,8	7,9

+8,11%2C <sub>2</sub> S ·CaF <sub>2</sub> (разд.)	Возд. охл.	87,0	20,1	91,2	16,0	91,3	10,9	82,1	5,8
	Вод. охл.	95,7	17,4	97,5	12,6	96,8	7,8	91,6	4,8
1,2%R <sub>2</sub> O +8,11%2C <sub>2</sub> S ·CaF <sub>2</sub> (разд.)	Возд. охл.	87,3	19,9	89,6	14,1	90,2	10,0	82,4	6,9
	Вод. охл.	95,2	11,0	96,8	10,6	96,2	7,6	91,1	4,1

Наивысшие показатели коэффициента яркости при температуре 1400°С наблюдаются у контрольных образцов: при воздушном охлаждении 85,9 и 85,8%, при охлаждении в воде 92,2 и 92,0%. Содержание СаО св. в контрольных образцах при температуре 1400°С: при воздушном охлаждении 12,43 и 12,40%, при охлаждении в воде 11,46 и 12,02%, соответственно. КЯ образцов с раздельным вводом, как при воздушном (82,1 и 82,4%), так и при водяном охлаждении (91,6 и 91,1%), близок к КЯ контрольных образцов, но при этом при раздельном вводе значительно меньше содержание свободного оксида кальция: при охлаждении на воздухе 5,79 и 6,87%, в воде – 4,79 и 4,12%, соответственно. Оксид кальция является белым кристаллическим веществом, поэтому вносит свой вклад в величину коэффициента яркости клинкера. Отсюда можно заключить, что при равной степени усвоения свободного оксида кальция величина белизны при раздельном вводе минерализатора будет выше, чем у контрольных образцов

Во всем температурном интервале абсолютно все образцы белого клинкера, закаленные в воде, обладают большим коэффициентом яркости, чем образцы, охлажденные на воздухе. При раздельном вводе минерализатора эта разница составляет 5,5...9,5%, при традиционном – 4,8...7,7%. Минимальная разница между белизной образцов клинкера, охлажденных в разных средах, наблюдается у контрольных образцов, что в первую очередь обуславливается высоким содержанием свободного оксида кальция, особенно у образцов, охлажденных на воздухе.

Анализируя полученные данные (табл. 2), можно сказать, что раздельный способ ввода минерализатора 2C<sub>2</sub>S·CaF<sub>2</sub> показал себя эффективнее традиционного. При раздельном вводе наблюдается более полное усвоение свободного оксида кальция и более высокая белизна в сравнении с традиционным. Данная закономерность соблюдается независимо от способа охлаждения.

### **Выводы**

1. При вводе минерализатора 2C<sub>2</sub>S·CaF<sub>2</sub> более предпочтительно водное охлаждение. Охлаждение в водной среде позволяет повысить

белизну клинкера в сравнении с воздушным охлаждением как при традиционном, так и при раздельном способе ввода минерализатора  $2C_2S \cdot CaF_2$ . При охлаждении в воде коэффициент яркости клинкера с раздельным вводом выше на 9,1%, при традиционном - на 6,0% в сравнении с клинкером, охлажденным на воздухе.

2. Охлаждение клинкера в воде характеризуется более высоким усваиванием свободного оксида кальция как при традиционном, так и при раздельном вводе минерализатора  $2C_2S \cdot CaF_2$ . При традиционном вводе усваивание  $CaO$  св. в клинкере, охлажденном в воде, выше на 0,80%, при раздельном – на 0,88% в сравнении с клинкером, охлажденным на воздухе.

3. Ввод минерализатора  $2C_2S \cdot CaF_2$  интенсифицирует процесс обжига белого клинкера. Раздельный ввод минерализатора  $2C_2S \cdot CaF_2$  обладает более высокой интенсифицирующей способностью, чем традиционный. Усвоение свободного оксида кальция при раздельном вводе в среднем на 2,9%.

4. Раздельный ввод минерализатора позволяет добиться более высокой белизны клинкера, чем традиционный способ ввода. Коэффициент яркости клинкера при раздельном вводе минерализатора выше на 1,9% в сравнении с традиционным способом ввода.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 965-89 Портландцементы белые. Технические условия. – Введ. 1990-01-01. М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов. 1989. – 5 с.

2. Зубехин А.П. Белый портландцемент / А.П. Зубехин, С.П. Голованова, П.В. Кирсанов; под ред. А.П. Зубехина. – Ростов н/Д: Ред. ж. «Изв. Вузов. Сев.-Кавк. Регион», 2004. – 264 с.

3. Мишин Д.А., Ковалев С.В. Принципиально новый способ отбеливания клинкера с высоким содержанием железа // V Международный семинар-конкурс молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей: сб. докл. 180 с. – СПб.: изд-во АлитИнформ, 2015. – С. 29-37.

4. Пат. 2633620 Российская Федерация, МПК C04B 7/42; C04B 7/06. Способ интенсификации процесса обжига портландцементного клинкера минерализаторами (варианты) / Мишин Д. А., Ковалев С. В., Чекулаев В. Г.; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский Государственный технологический университет им. В. Г. Шухова» - опубл. 16.10.2017, Бюл. № 29.



5. Мишин Д.А. Причина 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. 161-166.

6. Бутт Ю.М., Тимашев В.В.: Практикум по химической технологии вяжущих материалов. Учебное пособие для химико-технологических специальностей вузов. М., «Высш. школа», 1973. – 504 с., ил.

*УДК 666.92*

*Мальцев Е.А.*

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

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КМА В ПРОИЗВОДСТВЕ ВЯЖУЩИХ**

В России особое положение занимают горно-металлургические комбинаты. Большую роль эти комбинаты играют в Белгородской области, так как на ее территории находятся значительные запасы железной руды - Курская магнитная аномалия. Поэтому общая и главная цель - найти применение отходу железистых кварцитов КМА.

Целью данной научной работы является исследование влияния отходов обогащения железистых кварцитов КМА в цементной промышленности и в производстве силикатного кирпича.

Хвосты обогащения железистых кварцитов КМА представляют собой мелкозернистый кремнезёмсодержащий порошок из отходов обогащения горно-обогатительных комплексов, которые образованы в результате размещения в хвостохранилища измельченных железистых кварцитов при мокрой и сухой магнитной сепарации. Эти отходы могут быть использованы, во-первых, в качестве заполнителя для строительных суспензий и бетонов, а также как активный кремнеземистый компонент бесклинкерных и малоклинкерных вяжущих автоклавного твердения. При обогащении железных руд на предприятиях Курской магнитной аномалии накапливаются в отвалах большое количество отходов: хвосты мокрой и в меньшей степени сухой магнитной сепарации, вскрышные и попутно добываемые породы.

В бассейне Курской магнитной аномалии среди отходов обогащения железистых кварцитов наиболее популярны магнетитовые. Особенностью этого типа руд является преобладание кварца среди других нерудных минералов. Это наглядно показано на рентгенофазовом анализе (рис.1). С этим связано крайне низкое значение основности руд и необходимость более глубокого их обогащения, чем других типов железных руд. Обогащение проходит мокрой магнитной сепарацией. При мокрой магнитной сепарации частицы, которые налипают на стенки и поверхности устройств, хорошо смываются водой, образуются флокулы из мелких магнитных частиц, которые положительно влияют на разделение минералов при обогащении сильномагнитных руд.

Файл - 32534.sp; Спектр - 32534.DAT; Съемка - 19.01.1996 4:43:50; Анод - Cu;

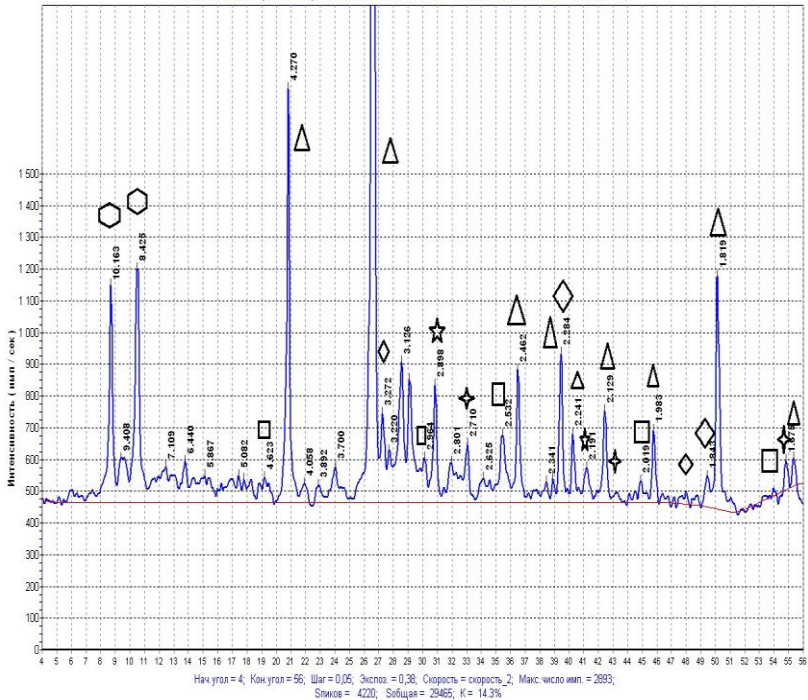


Рис. 1 Рентгенофазовый анализ отхода обогащения железистых кварцитов  
КМА

Обозначения:  $\triangle$  -  $\text{SiO}_2$ ;  $\square$  -  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ;  $\diamond$  -  $\text{CaCO}_3$ ;  $\star$  -  $\text{CaMgCO}_3$ ;  
 $\star$  -  $\text{MgCO}_3$ ;  $\hexagon$  -  $\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Ценным свойством магнетитовых кварцитов является низкое содержание вредных примесей – фосфора и серы. Содержание железа в железистых кварцитах КМА колеблется от 16 до 46%. Среднее количество железа в рудных участках 32–40 %. Химический состав отхода обогащения указан в таблице 1.

Таблица 1 - Химический состав отхода обогащения железистых кварцитов КМА

Наименование	Содержание оксидов, масс. %										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	п.п.п.
Отходы обогащения железистых кварцитов КМА	66,19	9,51	9,06	6,44	3,70	4,08	0,69	0,51	0,16	0,11	5,19

На РФА и химическом составе видно, что преобладает преимущественно кварц.

Одно из исследований показало, что помол отхода в шаровой мельнице происходит легко и быстро. Исходная удельная поверхность отхода составляет примерно 169 м<sup>2</sup>/кг. После пяти минутного помола в шаровой мельнице удельная поверхность возрастает до 336 м<sup>2</sup>/кг. В начале исследования было взято 50 грамм отхода, который был просеян на вибро-сите 02 и 008. Материал, прошедший через сита был взят на определение удельной поверхности и в дальнейшем использован для сравнения с материалом после помола. Результаты в таблице 2.

Таблица 2 - Остаток отхода железистых кварцитов КМА на ситах в % и его удельная поверхность

Сита	Без помола	5 минут помола
02	14,2% (7,1 гр)	0,2% (0,1 гр)
008	19,6% (9,8 гр)	5,6% (2,8 гр)
дно	66,2% (32,9 гр)	94,2% (47,1 гр)
Удельная поверхность S <sub>уд</sub> , м <sup>2</sup> /кг	169	336

Более наглядно показано на диаграмме (рис.2):

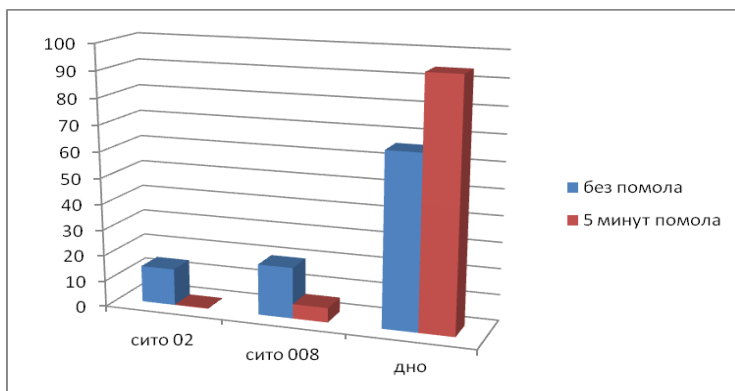


Рис. 2 Диаграмма остатков отхода железистых кварцитов КМА на ситах 02 и 008

Исходя из полученных данных, проводились исследования на размолоспособность клинкера Белгородского и отхода обогащения железистых кварцитов КМА. Отход используется как компонент с клинкером. Было взято две пробы по 100 грамм. Первая проба – 95 грамм клинкера и 5 грамм гипса, вторая проба – 90 грамм клинкера, 5 грамм гипса и 5 грамм отхода. Помол в шаровой мельнице составлял 30 минут, измерения удельной поверхности проводились каждые 10 минут для сравнения. Результаты в таблице 3.

Таблица 3 – исследование динамики размолоспособности по получаемой удельной поверхности

Время помола, мин	Клинкер+гипс	Клинкер+гипс+отход
10	204 м <sup>2</sup> /кг	241 м <sup>2</sup> /кг
20	277 м <sup>2</sup> /кг	303 м <sup>2</sup> /кг
30	352 м <sup>2</sup> /кг	359 м <sup>2</sup> /кг

По данным видно, что при введении отхода в клинкер, размолоспособность материала увеличивается. Были проведены исследования на физико-механические свойства цемента с отходом, однако положительных результатов не удалось достичь.

По результатам следующих исследований применение отхода обогащения железистых кварцитов КМА возможно найти в производстве вяжущих автоклавного твердения.

Силикатный кирпич относится к числу широко распространенных стеновых материалов. Его производство характеризуется более высокой степенью механизации и комплексностью оборудования, а удельные

капитальные вложения, расход топливно-энергетических ресурсов, затраты на производство единицы продукции в 1,5-2 раза ниже по сравнению с аналогичными показателями при производстве глиняного кирпича. Используется силикатный кирпич в широких масштабах не только для возведения стен, но и для облицовки фасадов зданий. В последние годы значительно возрос объём индивидуального строительства, а вместе с ним и требования к кирпичу и внешнему виду, прочности и атмосферостойкости. С изменением строительных норм и правил выросла потребность в пористых изделиях с низкой теплопроводностью и высокой прочностью. В производстве силикатных автоклавных материалов этого можно достичь, увеличивая производство пустотелых изделий, масса которых меньше на 25-30%, коэффициент теплопроводности – на 17-33% в сравнении с полнотелыми изделиями. Это достигается правильной выбором сырьевых компонентов и оптимальной технологической схемы производства с использованием современного оборудования.

В работе использовались известь активностью 92% (1 сорт), отход железистых кварцитов КМА и чистый песок. Отход использовался при замене песка на 50% при общем соотношении песка и извести 1:1, и при замене песка на 100%, при соответствующем соотношении извести и отхода 1:1. Образцы составляли по три таблетки каждой пробы. Третья проба – известь и песок 1:1 для сравнения. Известь измельчалась до состояния пудры (удельная поверхность около 400 м<sup>2</sup>/кг). Песок измельчался до удельной поверхности 206 м<sup>2</sup>/кг. Измельчение отхода не потребовалось, так как после обычного просеивания на вибро-сито в течение 7 минут была получена удельная поверхность 204,04 м<sup>2</sup>/кг. Общая масса каждой пробы 40г. Таким образом создано три пробы: 20г извести и 20г песка; 20г извести, 10г песка и 10г отхода; 20г извести и 20г отхода. Каждой пробы хватило на 3 таблетки. Итого – 9 таблеток, которые были отправлены в автоклав, где термальная обработка длилась 4 часа под давлением 8атм. После автоклавирования, образцы находились ровно сутки в эксикаторе для хранения. На следующие сутки проводились исследования на физико-механические свойства образцов, результаты которых сведены в таблице 4.

Таблица 4 – предел прочности на сжатие образцов

	Прочность на сжатие, МПа
Известь и песок (50% 50%)	4,69
Известь и песок с отходом (50% 25% 25%)	8,72
Известь и отход (50% 50%)	6,92

По проделанной работе можно сделать вывод, что при наличии большого количества кварца помол отхода проходит достаточно быстро - через 5 минут помола отхода удельная поверхность возрастает со 169 м<sup>2</sup>/кг до 336 м<sup>2</sup>/кг, что может интенсифицировать помол при производстве вяжущих. При введении отхода в известково-песчаную смесь и заменой песка на 50% увеличивается прочность на 86%. А при полной замене песка на отход, прочность увеличивается на 47,5%. В первом и втором случаях удельная поверхность песка и отхода составляет 204 м<sup>2</sup>/кг и 206 м<sup>2</sup>/кг соответственно. В дальнейшем будут проведены исследования при повышении удельной поверхности песка и отхода, как при совместном помоле, так и при отдельном.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Горшков, В. С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ. [Текст]: практ. пособие / В. С. Горшков, В. В. Тимашев, В. Г. Савельев. – М.: Высш. шк., 1981. – 334 с.
2. Крючков А.В. Совершенствование технологии обогащения железистых кварцитов // Горный журнал. - 2001. - № 6.
3. Ключин В.А., Остапенко А.В. Совершенствование технологии обогащения // Горный журнал. - 1996. - № 3.
4. Остапенко П.Е. Обогащение железных руд. М., «Недра», 1977 – 274 с.
5. Кудярова Н.П., Н.П. Бушуева, Технологические расчёты при проектировании заводов силикатного кирпича: учебное пособие - Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – 105с.

**УДК 620.9**

***Митяева А.Ю., Маслов И.Н.***

***Научный руководитель: Москаленко Н.И., д-р физ.-мат. наук, проф.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия***

### **ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДА В ЭНЕРГЕТИКЕ**

В настоящее время водород рассматривается как одно из наиболее перспективных топлив, используемых в различных сферах экономики. Несомненными преимуществами этого элемента являются его высокая распространенность на поверхности земли и в космосе, а также максимальная теплота сгорания. Более того, продуктом сгорания водорода в кислороде является вода, которая может возвращаться в оборот и использоваться в качестве вторичного энергоносителя для создания экологически чистой энергии [1-3].

В электроэнергетической отрасли водород может играть важную роль как углеродно-нейтральное топливо для централизованной и распределенной генерации. Кроме того, он может быть использован в качестве средства накопления энергии и как вторичный энергоноситель для аккумулирования энергии, производимой на объектах возобновляемой энергетики. Водород, в отличие от кислорода, не встречается на Земле в чистом виде и его извлекают из других соединений при помощи различных химических методов. Одним из таких способов является электролиз воды, который производит зеленый водород из возобновляемых источников энергии. В этом случае, для производства водорода потребуется вода, электролизер и большое количество электроэнергии. Голубой водород производится из природного газа с улавливанием вредных отходов для вторичного использования. Несмотря на это, метод не является идеально чистым. Производство розового или красного водорода осуществляется при помощи атомной энергии. Серый водород получают путем конверсии метана, и при этом процессе вредные отходы выбрасываются в атмосферу. Коричневый водород получают в результате газификации угля. Однако этот метод также после себя оставляет парниковые газы.

Существует ряд технологий получения биоводорода из мусора и этанола, но их доля на рынке весьма мала. Обеспечение спроса на экологически чистый водород – важная задача на современном этапе развития энергетики. Необходимо развивать экологически чистые методы производства водорода, такие как электролиз воды, а также биотехнологии, чтобы снизить вред для окружающей среды [4-6].

Исследования показывают, что на протяжении последних десятилетий климат нашей планеты подвергается значительным изменениям в связи с глобальным потеплением. Этот процесс происходит из-за выброса вредных веществ в атмосферу, обусловленного различными источниками, как транспортом, так и производством электроэнергии и промышленностью. В этом контексте водород, как альтернативный источник энергии, представляет значительный интерес. В настоящее время по всему миру проводятся исследования в этой области, и представляется, что водород может стать важным игроком в борьбе с глобальным потеплением [3].

Водород может использоваться во многих областях, включая транспорт, производство электроэнергии и промышленность. В этом отношении водород составляет альтернативу традиционным источникам энергии, таким как нефть, уголь и газ. Одним из главных преимуществ водорода является его высокая энергетическая эффективность и непосредственное конвертирование водородной

энергии в электроэнергию, что в свою очередь позволяет сократить потери.

Возможность производства и хранения больших количеств водорода делает его значительно эффективнее по сравнению с батареями, которые имеют ограниченный срок службы и могут хранить только ограниченное количество энергии. При использовании водорода в качестве энергетического источника, он может быть произведен из избыточной возобновляемой энергии, что позволит максимально использовать возможности возобновляемых источников энергии и снизить вредное воздействие на окружающую среду. Кроме того, после использования водород превращается в воду, что делает его полностью экологически безопасным.

Также необходимо учитывать, что производство водорода требует большого количества энергии, которая часто получается из источников, не являющихся возобновляемыми. Поэтому для того, чтобы использование водорода в энергетике было действительно экологически чистым, необходимо развивать возобновляемые источники энергии, такие как солнечная и ветровая энергия.

В целом, использование водорода в качестве энергетического носителя имеет большой потенциал и может стать одним из ключевых элементов перехода к более чистой и устойчивой энергетике. Однако для этого необходимо продолжать исследования и развивать технологии производства, хранения и использования водорода, а также создавать инфраструктуру для его широкого применения, но несмотря на все преимущества, применение водорода в энергетике до сих пор ограничено из-за высокой стоимости производства и хранения водорода, а также недостаточной развитости инфраструктуры для его использования.

Таким образом, применение водорода в качестве альтернативного источника энергии может оказать существенное влияние на борьбу с глобальным потеплением. Кроме того, водород является безграничным ресурсом, который можно использовать в местах производства. Благодаря своим уникальным свойствам, водород может стать одним из наиболее эффективных решений для сокращения использования традиционных источников энергии и более эффективного управления потреблением энергии в мировой экономике.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Марьян Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Горлов А.Н. Влияние водородного топлива на работу газотурбинной установки при работе на



оптовом рынке электрической энергии и мощности // Международный технико-экономический журнал. 2022. № 1. С. 17-26.

2. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р., Савина М.В. Добавление водорода к топливному газу для повышения энергетических характеристик газотурбинных установок // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2021. Т. 25. № 3(158). С. 342-355. DOI 10.21285/1814-3520-2021-3-342-355.

3. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Ахметшин А.Р. Исследование применения водорода в качестве топлива для улучшения энергетических и экологических показателей работы газотурбинных установок // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23. № 2. С. 84-92.

4. Марьин Г.Е., Осипов Б.М., Титов А.В., Ахметшин А.Р. Газовая турбина, работающая в составе тепловой электрической станции с водородным накопителем // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). 2023. № 1(406). С. 23-35. DOI 10.15518/isjaee.2023.01.023-035.

5. Марьин Г.Е., Сопина Ю.В. Перспективы применения водорода в энергетике // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова: Материалы конференции, Белгород. 2021. С. 4160-4163. EDN DFRRQF.

6. Сопина Ю.В., Марьин Г.Е. Влияние технологий аккумулирования электрической энергии на развитие возобновляемых источников энергии // Международная научно-техническая конференция молодых ученых, Белгород, 25–27 мая 2020 года. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2020. С. 4430-4433. EDN RZFYRH.

**УДК 666.768**

*Павлова И.А., Ручий А.Ю., Трепалин Д.В.*

*Научный руководитель: Трепалина Ю.Н., канд. техн. наук, доц.*

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

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ НА СВОЙСТВА ОГНЕУПОРНОГО БЕТОНА**

Задачей огнеупорной промышленности сегодня является выпуск высококачественной, долговечной продукции при низких производственных и финансовых затратах. Это достигается путём использования техногенных сырьевых материалов, альтернативных

энергоресурсов, а также введением в состав сырьевой смеси специальных добавок, интенсифицирующих технологический процесс.

Так, использование ортофосфорной кислоты в качестве модифицированного связующего компонента [1], наблюдается в производстве теплотехнических и строительных материалов и изделий [2]. В совокупности с глинозёмом, этот вид добавки образует систему  $Al_2O_3-P_2O_5-H_2O$ , которая, в свою очередь, придаёт готовому продукту ценные физико-механические свойства (повышенные прочностные показатели, стойкость к различным внешним воздействиям) [1]. Однако, многие физико-химические характеристики фосфатных вяжущих остаются неизученными [3], поэтому актуальность данной научной работы существенна.

В качестве сырьевой базы были использованы: ортофосфорная кислота ( $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$ , ЧДА), шамот, глина (Латненского месторождения), электрокорунд.

В ходе эксперимента были изготовлены 3 вида огнеупорных бетонов (размер рёбер кубических образцов составил 30 мм). В первом случае глина и шамот подверглись совместному сухому помолу в 4-х л керамической шаровой мельнице. Сухую смесь затворяли ортофосфорной кислотой, соединяли с заполнителем (неизмельчённым шамотом) и формовали полусухим методом. Этот состав являлся сравнительным, наиболее часто встречающимся в заводских условиях. Два остальных вида были изготовлены на корундовой суспензии с тем же заполнителем путём вибропрессования. Отличительной чертой между ними стала разница сред суспензий (кислая и нейтральная). Составы описанных бетонов представлены в табл.1.

По мере застывания, образцы, содержащие в своём составе кислоту, перед обжигом подверглись прокаливанию при  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  [4] в течение 1 часа в муфельной печи. Обжиг бетонных образцов происходил при  $1200, 1250$  и  $1300 \text{ }^\circ\text{C}$  с выдержкой в 1 час.

С помощью гидравлического пресса полученные огнеупорные бетоны были испытаны по показателю «прочность на сжатие». Поскольку для каждой температуры были предусмотрены по 3 образца, в табл.2 занесены средние значения  $R_{сж}$ .

Таблица 1 – Составы бетонных смесей

Вид бетона	Наименование компонента				
	Глина+шамот, %	Шамот (заполнитель), %	Корунд+кислота, %	Корунд+вода, %	$H_3PO_4$ , %
Сравнительный	30	70	-	-	9

На кислой суспензии	-	65	35	-	-
На нейтральной суспензии	-	65	-	35	-

Таблица 2 – Прочностные показатели бетонов

Температура обжига, °С	Вид бетона		
	Сравнительный	На кислой суспензии	На нейтральной суспензии
1200	7,8	40,1	5,8
1250	7,8	40,6	9,3
1300	9,0	47,9	15,4

Более наглядно зависимость прочности от соответствующих температур может быть представлена на рис.1 в виде графиков.

Наиболее высокую прочность продемонстрировал бетон с кислотой в составе, заформованный по методу вибропрессования. Максимальная прочность здесь была достигнута при 1300 °С.

Так же, чтобы оценить влияние внешней жидкой среды на обожженные образцы, в вакуумкамере, были проведены испытания на определение водопоглощения бетонов. Результаты исследования отображены в табл. 3 и на рис. 2, 3, 4.

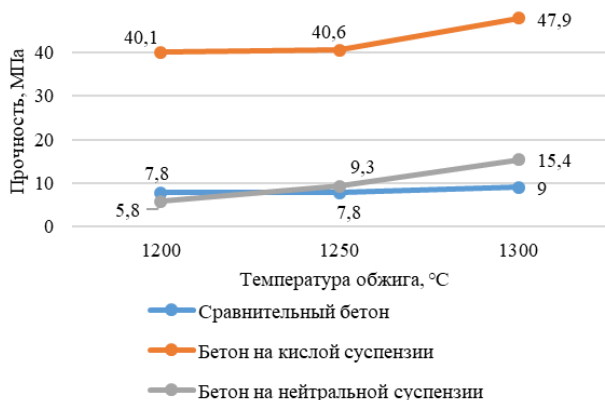


Рис. 1 Прочностные показатели бетонов различного состава

Таблица 3 – Результаты испытания бетонов

Вид бетона	Температура обжига, °С	Показатель		
		Водопоглощение В, %	Кажущаяся пористость Пк, %	Кажущаяся плотность $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>
Сравнительный	1200	15,2	27,6	1,81
	1250	15,0	27,4	1,82
	1300	14,6	26,8	1,83
На кислой суспензии	1200	10,6	26,3	2,28
	1250	10,4	25,7	2,29
	1300	10,0	25,0	2,31
На нейтральной суспензии	1200	11,1	28,5	2,22
	1250	11,0	28,3	2,24
	1300	10,6	27,9	2,24

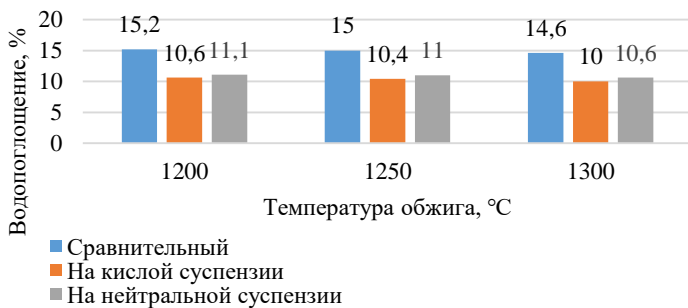


Рис. 2 Зависимость водопоглощения от температуры обжига бетонов

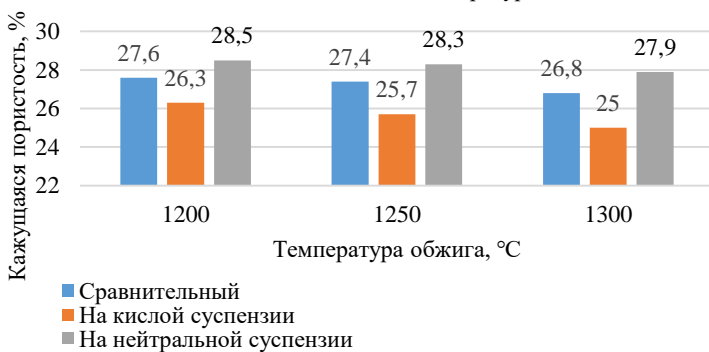


Рис. 3 Зависимость кажущейся пористости от температуры обжига бетонов

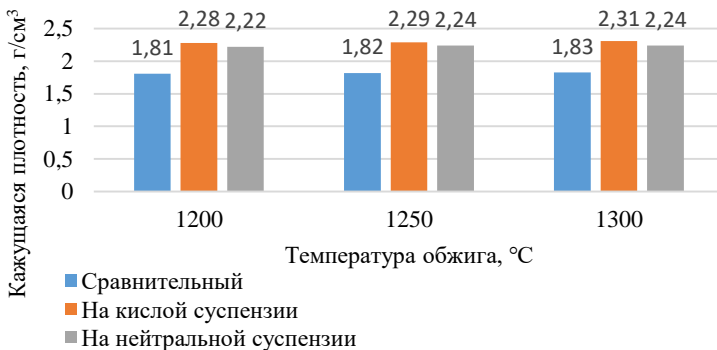


Рис. 4 Зависимость кажущейся плотности от температуры обжига бетонов

Анализируя результаты проведённых экспериментов, можно заметить следующую взаимосвязь: чем выше температура спекания образцов, тем выше кажущаяся плотность, и, соответственно, ниже значения водопоглощения. Эта характеристика бетона является одной из важнейших, поскольку во многом предопределяет долговечность готового продукта [5]. Исходя из представленных на рис.2 данных, наименьшим водопоглощением обладает состав бетона на кислой корундовой суспензии. Такие бетоны превосходили по прочности два других состава, а значит, являются наиболее и стойкими к негативному влиянию окружающей среды.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Немец, И. И. Корундовые суспензии, модифицированные гидроксидами элементов III периода / И. И. Немец, Ю. Н. Трепалина // Огнеупоры и техническая керамика. – 2008. – №2. – С. 18–20.
2. Тихоненко, О. Ю. Исследования свойств фосфатных связующих и композиций на их основе / О. Ю. Тихоненко, В. А. Дьяконов, Н. В. Нефедова, А. А. Степко // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – №4. – С. 94–96.
3. Хлыстов, А. И. Применение фосфатного связывания в процессах получения жаростойких бетонов на основе карбонатсодержащих отходов / А. И. Хлыстов, Е. А. Чернова // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре, строительные технологии. – 2015. – С. 62–67.

4. Трепалина, Ю. Н. Фазовый состав, микроструктура и термомеханические свойства огнеупорных бетонов на механохимических фосфатсодержащих вяжущих / Ю. Н. Трепалина, И. И. Немец, В. А. Дороганов, Е. И. Евтушенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2014. – №10. – С. 7–12.

5. Дятлова, Е. М. Химическая технология керамики и огнеупоров / Е. М. Дятлова. – Минск: БГТУ, 2014. – 224 с.

**УДК 621.311**

***Петров А.В., Маслов И.Н.***

***Научный руководитель: Москаленко Н.И., д-р физ.-мат. наук, проф.  
Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия***

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ЗА СЧЁТ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ**

Электричество является неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, а современные электроприборы сделали нашу жизнь более комфортной и удобной. Однако с ростом использования этих устройств важно обеспечить, чтобы качество электроэнергии, подаваемой в наши дома, было на должном уровне [1-3].

Качество электроэнергии - степень соответствия характеристик электрической энергии в данной точке электрической системы совокупности нормированных показателей качества электроэнергии. Качество может относиться ко многим различным вещам, включая уровень напряжения, частоту и стабильность электрического тока. Поэтому повышение качества электроэнергии с помощью современных электрических устройств имеет важное значение для обеспечения надлежащего функционирования наших электрических систем [4, 5].

Одним из главных параметров качества электроэнергии является отклонение напряжения. Отклонение напряжения – мера разницы между фактическим напряжением, подаваемым в электрическую систему, и желаемым или номинальным напряжением. Максимальное отклонение в течении длительного времени, согласно ГОСТу 32144-2013, не должно превышать 5% от номинального уровня, однако допускается отклонение в 10%, но при условии краткосрочного времени, если эти условия не выполняются, то это может привести к повреждению электрооборудования, создать угрозу безопасности и даже стать причиной отключения электроэнергии в электросети.

Также следует упомянуть такой параметр как провал напряжения. Провал напряжения - уменьшение электрического потенциала между двумя точками электрической цепи, обычно вызванное сопротивлением компонентов цепи. Согласно ГОСТу 32144-2013, провал напряжения происходит в диапазоне от 5% до 90% - от номинального напряжения и чья длительность составляет 1 минуту. Если провал напряжения будет длиться больше минуты, то это может привести к остановке современного производства на несколько часов [1].

Есть несколько способов, которыми современные электрические устройства могут улучшить качество электричества. Одним из таких способов является использование регуляторов напряжения. Регулятор напряжения — это электрическое устройство, которое автоматически регулирует уровень напряжения в электрической цепи. Это гарантирует, что уровень напряжения останется постоянным, даже если нагрузка на цепь изменится. Регуляторы напряжения особенно полезны в местах, где уровень напряжения часто колеблется, поскольку они могут помочь предотвратить повреждение чувствительного электрического оборудования [2]. Еще одним способом повышения качества электроэнергии является использование устройств коррекции коэффициента мощности. Коэффициент мощности является мерой эффективности электрической системы. Если коэффициент мощности низкий, это означает, что электрическая система не использует доступную мощность эффективно. Устройства коррекции коэффициента мощности работают, улучшая коэффициент мощности, тем самым повышая эффективность электрической системы. Это может привести к снижению счетов за электроэнергию и снижению износа электрооборудования [3]. Современные электрические устройства также могут улучшить стабильность электрического тока. Одним из таких устройств является сетевой фильтр. Сетевой фильтр — это электрическое устройство, которое защищает электрооборудование от скачков напряжения и скачков напряжения. Скачки и скачки напряжения могут привести к повреждению чувствительного электрооборудования, такого как компьютеры и телевизоры. Устройства защиты от перенапряжения могут помочь предотвратить это повреждение, отводя избыточное напряжение от оборудования. В дополнение к устройствам защиты от перенапряжения существуют также устройства, называемые фильтрами подавления гармоник. Гармонические фильтры используются для фильтрации гармонических искажений в электрических системах. Гармонические искажения являются распространенной проблемой в электрических системах и могут привести к повреждению электрооборудования, а также к

проблемам с качеством электроэнергии. Фильтры гармоник работают, отфильтровывая гармонические искажения, тем самым улучшая качество электрической системы [1]. Наконец, современные электрические устройства могут улучшить качество электроэнергии за счет лучшего мониторинга и контроля. Например, интеллектуальные счетчики можно использовать для мониторинга энергопотребления в режиме реального времени. Это может помочь определить области, где энергия тратится впустую или используется неэффективно, а также может помочь домовладельцам и предприятиям принимать более правильные решения о том, как использовать свою энергию. Точно так же передовые системы управления могут использоваться для контроля и управления электрическими системами, обеспечивая их правильное и эффективное функционирование. В заключение, качество электроэнергии имеет решающее значение для нормального функционирования нашего современного общества. Повышение качества электроэнергии с помощью современных электрических устройств имеет важное значение для обеспечения безопасности, эффективности и надежности наших электрических систем. Существует множество современных электрических устройств, от регуляторов напряжения и устройств коррекции коэффициента мощности до устройств защиты от перенапряжения и фильтров гармоник, которые могут помочь улучшить качество электроэнергии. Используя эти устройства, мы можем гарантировать, что наши электрические системы работают наилучшим образом, чтобы обеспечивать нас энергией, необходимой для жизни.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. 3.1.38 «Качество Электроэнергии» Введен 2014–07–01. – М.: Стандартиформ, 2014. – 36 с.

2. Федотов А.И. Ахметшин А.Р. Мероприятия по увеличению пропускной способности линий электропередач в распределительных сетях 10 кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2011. № 5-6. С. 79-85.

3. Зарипова С.Н., Чернова Н.В., Ахметшин А.Р. Глубокая компенсация реактивной мощности в распределительных электрических сетях напряжением 0,4-10кВ // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2014. № 1-2. С. 60-66.



4. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р., Чернова Н.В. Результаты статистического анализа электрических нагрузок многоквартирных домов г. Москвы // Электрические станции. 2023. № 2(1099). С. 22-28. EDN WUEGJL.

5. Суслов К.В., Солонина Н.Н., Солонина З.В., Ахметшин А.Р. Повышение точности определения места повреждения в линиях электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2020. Т. 12, № 3(47). С. 3-13.

**УДК 666.94**

**Поварницына В.Д.**

**Научный руководитель: Щёлокова Л.С., доц.**

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ВОДОУДЕЛЕНИЕ ЦЕМЕНТНЫХ СУСПЕНЗИЙ**

В настоящее время вопрос водоотделения остро стоит на каждом предприятии цементной промышленности. В процессе образуются поры на поверхности изделия или внутри него, обеспечивается плохой контакт с армированием и минеральным заполнителем.

При этом расслоение цементной смеси под действием сил тяжести на твёрдую составляющую можно рассматривать не однозначно.

С одной стороны, он может оказывать положительное влияние, при условии, что скорость испарения воды с поверхности будет не меньше скорости водоотделения. При таком раскладе бетон будет иметь более плотную структуру, это явление можно наблюдать при работе в жаркую погоду или в тёплых странах.

С другой стороны, когда раствор утратил свою удобоукладываемость и пластичность отделение воды нанесёт вред изделию: ухудшится связь раствора с заполнителем, появятся внутренние пустоты, ведущие в последствии к потере прочности. (1)

По большей мере водоотделение несёт отрицательный эффект, поэтому существует ряд способов уменьшения интенсивности процесса:

1. Увеличение удельной поверхности цемента.
2. Применение поверхностно-активных веществ, водоудерживающих, воздухововлекающих добавок
3. Использование добавок: пуццолана, трепел.

4. Сокращение количества вводимого шлака, так как он, наоборот, увеличивает выделение воды.

5. Увеличение содержания  $C_3A$  в цементе.

6. Снижение водоцементного отношения, вводом дополнительного количества цемента

Подробно стоит рассмотреть применение интенсификаторов помола, потому что перед ними стоит решение не одной задачи, а сразу нескольких.

Увеличение тонкости помола цемента влечёт за собой значительное повышение затрат на электричество, при этом производительность мельницы падает. Интенсифицирующие добавки эффективно влияют на энергозатраты, при этом повышая съём материала с агрегата, а в последствии оказывает действие и на водоотделение смеси. [1]

В данной работе приводится исследование по оценке влияния интенсификаторов помола на водоотделение цементов, т.к. согласно литературным данным, увеличенная удельная поверхность и применение добавок в составе цементов должны уменьшать значение отделения воды.

Испытания проводились на материалах предприятия ООО «Азия-цемент», а именно цемент: ЦЕМ 0 52,5; ЦЕМ I 42,5; ЦЕМ II А-П 42,5. На приборе поверхностиметр ПМЦ-500 измерена тонкость цементов, результаты представлены в таблице 1.

При проведении опытов в соответствии с ГОСТ 310.6–2020 [3] в дистиллированную воду добавляли интенсификатор в количестве 0,1% от массы сухой смеси. Используемые добавки:

– Этиленгликоль (ЭГ). Прозрачная и бесцветная жидкость, немного маслянистая, без вкуса, со слабым запахом.

– Глицерин (Гл). Прозрачная и бесцветная жидкость, без запаха, слегка густой консистенции. Отличается высокой гигроскопичностью.

– Триэтаноламин (ТЭА). Прозрачная, маслянистая и вязкая жидкость тёмно-коричневого цвета со слабым специфичным запахом аммиака. Используется в цементной промышленности как связующее вещество, ускоритель или замедлитель сроков схватывания.

– Диэтиленгликоль (ДЭГ). Бесцветная жидкость с легким запахом спирта, способен впитывать влагу из окружающего воздуха.

– Метилдиэтаноламин (МДЭА). Бесцветная, гигроскопичная жидкость с запахом аммиака.

– Диэтаноламин (ДЭА). Густоватая и маслянистая жидкость бледно жёлтого цвета с запахом аммиака.

Проводились параллельные опыты в стандартных (табл. 2) и малых (табл. 3) образцах для оценки отклонения значений.

Таблица 1 - Удельная поверхность материалов

Тип цемента	Удельная поверхность $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг
ЦЕМ 0 52,5	426
ЦЕМ I 42,5	479
ЦЕМ II А-П 42,5	506

Таблица 2 - Водоотделение в стандартных образцах

Тип цемента	ЦЕМ 0 52,5	ЦЕМ I 42,5	ЦЕМ II А-П 42,5
Коэффициент водоотделения, %	14,0	13,2	8,7

Таблица 3 - Водоотделение в малых образцах

Тип цемента	ЦЕМ 0 52,5	ЦЕМ I 42,5	ЦЕМ II А-П 42,5
Коэффициент водоотделения, %	11,1	11,1	9,8

При сравнении результатов получено не критичное отличие значения коэффициента водоотделения, поэтому дальнейшие испытания проводились в малых образцах.

Исходя от полученный данные в таблице 4, можно выделить самые эффективные добавки. Для ЦЕМ 0 – глицерин, ЦЕМ I – МДЭА, ЦЕМ II – глицерин и ТЭГ.

Таблица 4 - Водоотделение цементов с добавками интенсификаторов

Название добавки	Коэффициент водоотделения W, %		
	ЦЕМ 0 52,5	ЦЕМ I 42,5	ЦЕМ II А-П 42,5
Гл	6,5	6,4	4,4
ЭГ	8,7	6,5	6,5
ДЭГ	17,8	12,8	13,0
МДЭА	20,0	4,3	6,4
ДЭГ	15,2	5,3	4,3
ТЭГ	20,0	4,4	4,4

По ходу эксперимента было принято решение исследовать влияние комбинации наиболее результативных добавок – этиленгликоль с глицерином (ЭГ+Гл) и триэтаноламин с диэтаноламином (ТЭА+ДЭА),

так же были исследованы комбинации интенсификаторов в сочетании с глицерином 1:1 (таблице 5).

Таблица 5 - Водоотделение цементов с применением комбинации интенсификаторов

Название добавки	Коэффициент водоотделения W, %		
	ЦЕМ 0 52,5	ЦЕМ I 42,5	ЦЕМ II А-П 42,5
ЭГ+Г	20,0	4,4	8,5
ТЭА+ДЭА	19,6	4,4	5,3
Г+ТЭА	17,6	2,2	2,2
Г+ДЭА	17,8	4,3	7,4
Г+МДЭА	19,6	3,2	4,4
Г+ДЭГ	20,7	9,6	7,5

Для ЦЕМ 0 комбинации добавок не дали положительного эффекта, в то время как чистый глицерин и этиленгликоль в чистом виде снизили водоотделение с 11,1% до 6,5% и 8,7% соответственно.

Лучший результат показали комбинации глицина с ди- и триэтаноламинами. Исходный коэффициент водоотделения ЦЕМ I (11,1%) и ЦЕМ II (9,8%) уменьшился до 2,2%.

#### **Вывод**

1. Исследованные интенсификаторы помола оказывают разное влияние на водоотделение. Глицерин и этиленгликоль снижают показатели, диэтиленгликоль не оказывает влияния по сравнению с водоотделением бездобавочного образца.

2. В результате исследований была выявлена возможность применения интенсификаторов помола для снижения водоотделения цементов.

3. Комбинированные интенсификаторы действуют лучше, чем по отдельности на определённые типы цементов. Сочетание глицерина с триэтаноламином оказалось самым оптимальным

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Д. С. Ильин, А. И. Фрейдун, К. Леардини Уменьшение водоотделения цемента при помощи интенсификаторов помола // Цемент и его применение. – 2021. – №1. С. 71-73.
2. А.Л. Логунова А.С. Брыков Причины и последствия водоотделения // Цемент и его применение. – 2020. – №5. С. 18.
3. ГОСТ 310.6-2020 «Цементы. Метод определения водоотделения».

4. Шахова Л.Д., Черноситова Е.С., Денисова Ю.В. Исследование влияния технологических добавок на реологические свойства цементного порошка Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. № 10. С. 123-128.

*УДК 666.94*

*Попуцалова А.С.*

*Научный руководитель: Щёлокова Л.С., доц.*

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА НА СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА**

Совместный помол портландцементного клинкера и гипса в шаровой мельнице – самый энергоёмкий этап при изготовлении цемента. Именно поэтому в настоящее время в цементной промышленности делается упор на снижение затрат электроэнергии путём оптимизации процесса помола. Это возможно достичь введением в мельничный агрегат интенсификаторов -поверхностно-активных веществ. Интенсифицирующие добавки являются неотъемлемой частью закупок любого цементного завода.

Рекомендуемый расход добавки находится в диапазоне  $0,02 \div 0,1$  % от массы цемента. Дозировка интенсификатора подбирается экспериментально при проведении лабораторных и промышленных тестов в зависимости от химико-минералогического состава клинкера, вещественного состава цемента (природа и количество используемых минеральных добавок), необходимых параметров готовой продукции. В большинстве случаев для достижения необходимых показателей (по улучшению качества цемента, повышению производительности мельниц) достаточно использовать добавку в дозировке  $0,02 \div 0,04$  % от массы цемента.[1]

Применение интенсификаторов помола в целях повышения эффективности работы помольных установок является общей тенденцией в мировой цементной промышленности. Этот способ интенсификации должен развиваться в сторону внедрения интенсификаторов помола, вводимых непосредственно в мельницу и поиска новых ПАВ, количество которых будет ниже  $0,005 - 0,01$  %. [2]

В результате изучения работы цеха помола были раскрыты проблемы, связанные с экономической составляющей работы предприятия, износом оборудования и физико-химическими свойствами измельчаемых материалов. В связи с этим выявлена необходимость использования интенсифицирующих добавок при помоле цемента. Однако ещё не исследовано, как эти добавки влияют на свойства *конечного продукта*. Поэтому целью работы стало дать оценку интенсифицирующему действию выданных научным руководителем добавок и изучить, как они влияют на строительно-технические свойства цемента.

Помол контрольной смеси без интенсификатора осуществлялся в лабораторной мельнице с мелющими телами-металлическими шариками разных диаметров. После измельчения каждой пробы проводилось измерение удельной поверхности поверхности методом воздухопроницаемости с помощью прибора ПМЦ-500. Получившиеся результаты представлены на рисунке 1.

Из полученных значений видно, что наиболее эффективными являются метилдиэтаноламин, триэтаноламин и ДЭА. Они увеличивают тонкость помола на 1-3% при том же времени и расходе электроэнергии по сравнению с контрольной смесью. Менее активным интенсифицирующим действием обладают ДЭГ и ЭГ, способствующие повышению удельной поверхности на 0,1-1%. Не достигла изначальной удельной поверхности контрольной смеси проба с добавкой глицерина.

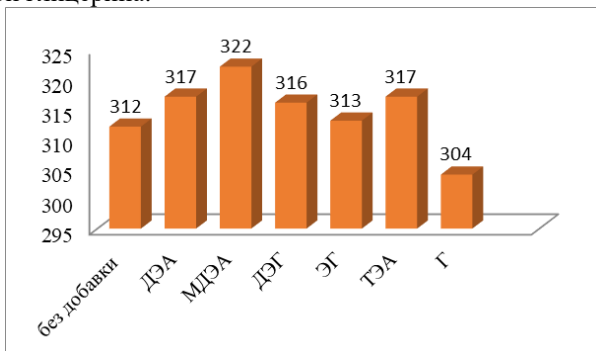


Рис. 1 Эффективность действия интенсификаторов помола

По диаграмме видно, что глицерин показал наименее активные по сравнению с другими добавками интенсифицирующие свойства. С экономической точки зрения он является самым дешёвым интенсификатором. Поэтому было принято решение смешать глицерин

с другими добавками в пропорции 1:1. Результаты испытаний отображены на рисунке 2.

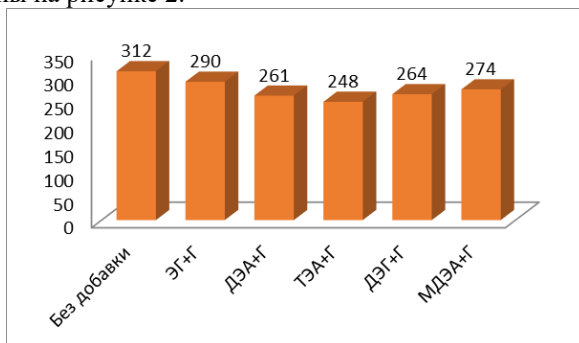


Рис. 2 Эффективность действия комбинаций с глицерином

Полученные данные показывают низкую эффективность применения комбинаций добавок с глицерином. Наиболее высокий показатель — у смеси с этиленгликолем и глицерином.

Стоит отметить, что добавка одного лишь этиленгликоля способствовала незначительному увеличению удельной поверхности на 0,3%. В сочетании с глицерином интенсифицирующего действия не произошло, однако полученная удельная поверхность наиболее близка среди всех остальных комбинаций к изначальной удельной поверхности смеси без добавки. Значит, с экономической точки зрения можно использовать сочетание этиленгликоля и глицерина, тем самым снижая расход более дорогостоящей добавки.

Далее было проведено водоотделение цементных суспензий в соответствии с ГОСТ 310.6-2020 с добавкой пяти комбинаций, описанных выше. Результаты исследования представлены на графике 3.

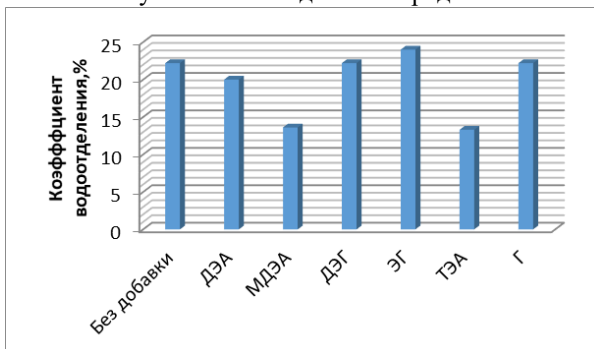


Рис. 3 Результаты исследования интенсификаторов помола на водоотделение цементных суспензий

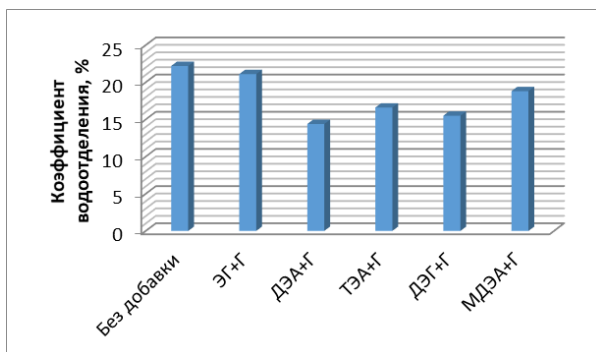


Рис. 4 Результаты исследования комбинаций с глицерином в качестве интенсификаторов помола на водоотделение цементных суспензий

Полученные значения показывают значительное снижение коэффициента водоотделения у смесей с комбинациями глицерина по сравнению с бездобавочным образцом. Если сравнить данные графиков 2 и 4, то можно заметить следующую тенденцию: чем ниже показатель удельной поверхности у смеси, тем ниже коэффициент водоотделения цементной суспензии. Соответственно с ростом интенсифицирующих свойств будет наблюдаться более высокое водоотделение. Так, например, самый низкий показатель удельной поверхности по рисунку 4 наблюдается у смеси с комбинацией П–диэтаноламин и глицерин—  $261 \text{ м}^2/\text{кг}$ . В то же время у этой же комбинации заметен самый низкий коэффициент водоотделения по таблице 6-  $14,4\%$ , что на  $35\%$  ниже по сравнению с бездобавочной смесью. Самой высокой удельной поверхности достигла смесь с комбинацией I–этиленгликоль и глицерин—  $290 \text{ м}^2/\text{кг}$ . При этом коэффициент водоотделения в этом случае составил  $21,1\%$ , что на  $5\%$  ниже, чем у смеси без добавки.

Подводя итог всему вышесказанному, можно отметить, что все введённые добавки оказывают разное воздействие на удельную поверхность и водоотделение цемента.

Было установлено, увеличение значения удельной поверхности смеси будет вести к повышению коэффициента водоотделения цементной суспензии.

В заключении проведённого исследования можно сказать, что целесообразно для интенсификации помола использовать добавки по отдельности. Однако с экономической точки зрения для снижения расхода дорогостоящего интенсификатора всё же можно использовать комбинацию из двух веществ. Наиболее эффективным в данной работе



было выявлено сочетание этиленгликоля и глицерина, удельная поверхность смеси с которыми близка к заданной, а коэффициент водоотделения ниже.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахова, Л.Д. Интенсификаторы помола Полипласт для производства цемента по сухому способу / Л.Д. Шахова, С.В. Маркова, Р.А. Черкасов // Информ Цемент. – 2012. – №1. – с. 67–70.
2. Савилов, С.И. Практика применения интенсификатора помола «InСem» на цементных предприятиях РФ. / Савилов С. И. Гайнутдинов Р. М. Никоненко С. Г.
3. Шахова Л.Д., Черноситова Е.С., Щелокова Л.С., Денисова Ю.В. Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2019. № 11. С. 8-16.

**УДК 666.9**

**Продан Н.Ф.**

**Научный руководитель: Мишин Д.А., доц.**

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

## СТЕКОЛЬНАЯ ВЯЖУЩАЯ СУСПЕНЗИЯ КАК ГИДРАВЛИЧЕСКИ АКТИВНАЯ ДОБАВКА К ЦЕМЕНТУ

На сегодняшний день крайне перспективным с экономической и экологической точки зрения являются переработка отходов различных отраслей промышленности и создание материалов на их основе.

В Российской Федерации объем стекольных отходов составляет 3277,2 тысяч тонн, из которых переработке подлежит 655,4 тысяч тонн [1]. Промышленная переработка стекла в России формируется за счет внутреннего сбора используемого сырья. Главным сырьем для перерабатывающих заводов является бесцветное прозрачное стекло, доля которого превышает 50%. Также активно используются тара из зеленого – около 20%, и коричневого стекла – 15% [2].

Одним из продуктов переработки стекольных отходов является стекольная вяжущая суспензия (СВС). СВС получают методом измельчения стекольного боя в воде.

Перспективным вариантом использования стекольной вяжущей суспензии является - создание композиционного вяжущего на основе

СВС и портландцемента, так как молотое стекло обладает скрытыми вяжущими свойствами.

Целью данного исследования является получение композиционного вяжущего на основе высушенной СВС и портландцемента.

В данном исследовании используем цемент ЦЕМ 1 42,5Н производства ЗАО «ОСКОЛЦЕМЕНТ». Удельная поверхность цемента  $S_{уд}=405 \text{ м}^2/\text{кг}$ , измеряем её методом воздухопроницаемости на приборе ПМЦ-500.

Используемая СВС изготовлена из стеклобоя тарного стекла четырех цветов и листового стекла в количестве указанным в табл. 1, химический состав тарного и листового стекла приведен в табл. 2 и 3. Удельная поверхность высушенного СВС равную  $S_{уд}=800 \text{ м}^2/\text{кг}$ , измеряем также как и цемент методом воздухопроницаемости на приборе ПМЦ-500.

Таблица 1 – Количество стекла различных цветов [3]

Вид бутылки	Масса стеклобоя (кг)	Процентное содержания (%)
Коричневая	17,92	24,9
Оливковая	18,78	26,1
Зеленая	10,85	15
Бесцветная	24,43	34
Всего	71,98	100

Таблица 2 – Химический состав листового стекла [3]

Содержание оксидов, масс. %						
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub> ≤
72,4	2	0,1	4,2	6,6	14,7	0,3

Таблица 3 – Химический состав тарного стекла [3]

Цвет стекла	Содержание оксидов, масс. %					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO+MgO	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Бесцветный	69,19	2,38+0,06	10,48+1,89	15,43+0,18	0,13	
Зеленый	67,29	2,52+0,29	9,36+3,72	15,88+0,38		0,22

Оливковый	67,15	2,65+0,31	9,14+4,04	15,85+0,6		
Коричневый	67,9	2,5+0,39	9,58+2,96	15,84+2,41		0,09

В ходе исследования было сделано 6 смесей по 100 г. из цемента и СВС в соотношении указанном в табл. 4. Перемешивание экспериментальных смесей осуществлялось в шаровой мельнице объемом 1л, заполненной резиновыми элементами, в течение 30 минут.

Таблица 4 – Состав смесей, %

Компонент смеси	Номер смеси					
	1	2	3	4	5	6
СВС	5	10	20	40	70	80
Цемент	95	90	80	60	30	20

Из смесей изготовили кубические образцы размером 1,41\*1,41\*1,41 см. с В/Ц приведенном в табл. 5.

Таблица 5 – В/Ц экспериментальных цементов

Номер смеси					
1	2	3	4	5	6
0,27	0,27	0,28	0,32	0,38	0,4

Полученные образцы хранились в воде и испытывали в возрасте 2, 14 и 28 суток.

В табл. 6 и на приложенном рисунке приведены результаты испытаний экспериментальных и контрольных образцов. Контрольные образцы изготовлены из цемента ЦЕМ 1 42,5Н.

Таблица 6 – Влияния содержания СВС на прочность экспериментальных цементов

Возраст сутки	Прочность МПа						
	ЦЕМ 1 42,5Н	1	2	3	4	5	6
2	37,32	35,97	36,48	24,42	11,56	3,77	0
14	73,59	62,85	66,87	63,77	37,36	13,51	0
28	82,1	80,39	79,55	78,26	38,79	18,5	0

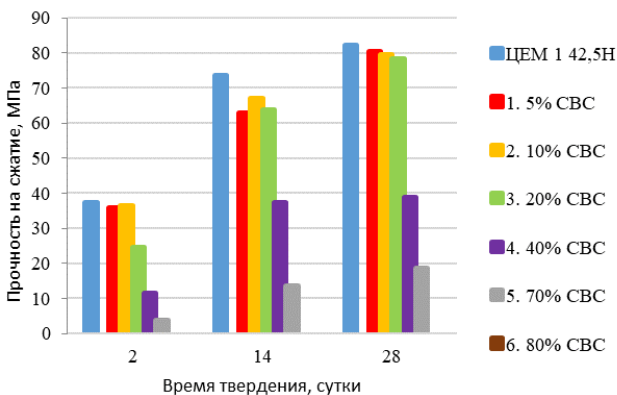


Рис. Влияния содержания CVC на прочность экспериментальных цементов

На 2 сутки твердения наличествует резкое падение прочности у экспериментальных образцов с содержанием CVC выше 10–20%. На 14 сутки наблюдаем замедление набора прочности у экспериментальных цементов и рост прочности образца № 3. На 28 сутки прочность у образцов с содержанием CVC до 20% не ниже чем у обычного цемента, падение прочности присутствует только у образцов с содержанием CVC выше 20–40%.

На основе результатов, полученных в ходе выполнения работы наблюдаем, что добавления к цементу в качестве добавки CVC до 20–40 % от общей массы, сопровождается незначительными потерями в прочности. Из чего можно заключить, что допустимо использовать CVC в качестве активной добавки к цементу до 20–40% от массы.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт Промышленность России [Электронный ресурс]. – Содержит сведения о переработке ТБО и стекла России. – Режим доступа: [http://hromax.ru/pererabotka\\_othodov\\_v\\_rossii.html](http://hromax.ru/pererabotka_othodov_v_rossii.html);
2. Официальный сайт Экспоцентр [Электронный ресурс]. – Содержит сведения о международной выставке «Мир стекла». – Режим доступа: <http://www.mirstekla-expo.ru/ru/article-about-glass/2016/zavody-ro-pererabotke-stekla>;
3. Гливуk А.С., Гливуk Е.А., Исследование влияния фракционного состава стекольного боя на процесс получения стекольной вяжущей суспензии и пористого материала на её основе / Гливуk А.С., Гливуk

Е.А.: IX Международный молодежный форум «Образование, наука, производство». – Белгород, 2017.

*УДК 666.948*

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

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА**

В 2022 году производство глинозёмистого цемента (ГЦ) было увеличено на 13,1%. Несмотря на ряд ограничений, связанных с коронавирусной инфекцией, производство ГЦ остаётся достаточно востребованным. Потребители отдают своё предпочтение данному виду цемента, поскольку основными достоинствами являются:

1. быстрый набор прочности в ранние сроки;
2. возможность использования при отрицательных температурах (зимнее бетонирование), за счет выделяемого тепла при его твердении;
3. возможность применения цемента в агрессивных средах, за счет повышенной плотности;
4. огнестойкость и термическая устойчивость.

К отрицательным свойствам относится то, что в результате выделяемого тепла, в процессе гидратации гидроалюминатов происходит цемент невозможно использовать при бетонировании большого объёма. Также изделия, изготавливаемые из этого вида цемента, не могут сопротивляться воздействию щелочной среды и разрушаются [1-3].

В основном фазовый состав глинозёмистого цемента представлен соединениями с высоким содержанием оксида алюминия. К таким соединениям относятся: СА (моноалюминат кальция),  $C_{12}A_7$  (майенит),  $CA_2$  (диалюминат кальция), а также трёхкальциевый алюминат ( $C_3A$ ). Наличие в сырье второстепенных оксидов -  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  и  $TiO_2$  приводит к образованию, например  $C_2AS$ ,  $C_2(Al, Fe)_2O_5$ ,  $MgAl_2O_4$  и др.. [4].

Основной фактор, влияющий на фазовый состав глиноземистого цемента, является сырьевые компоненты, которые используются при производстве вяжущего.

Потапова Е.Н. в работе [5] утверждает, что «незначительные колебания в составе сырья могут существенно отражаться на реакционной способности, динамике фазообразования, структуре клинкера и, соответственно, качестве цемента». Это заключение сделано, на основании многолетних исследований для портландцементной сырьевой смеси.

Целью данной работы является изучение влияния применения различного вида карбонатного компонента при производстве глиноземистого цемента.

Исследования проводились на основе карбонатной составляющей – известняк, мел, мергель, мраморовидный известняк и алюмосодержащей – боксит. Химический состав сырьевых компонентов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых компонентов

Н/к	Содержание оксидов, %						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	TiO <sub>2</sub>	Proch	ППП
Мел	0,23	0,16	0,07	55,40	0,02	0,01	44,11
Мергель	3,23	0,84	0,17	51,38	0,02	0,03	44,33
Мрамор	3,26	0,79	0,17	51,39	0,02	0,01	44,36
Известняк	0,22	0,16	0,07	55,01	0,02	0,02	43,80
Боксит	10,79	53,06	21,64	0,17	2,28	0,27	11,96

По минералогическому составу карбонатные компоненты представлены в основном кальцитом (CaCO<sub>3</sub>), в мраморе и мергеле наблюдаются следы кварца, что сопоставимо с химическим составом породы (SiO<sub>2</sub> 3,23 % в мергеле и 3,26 % в мраморе). В бокситах идентифицированы следующие минералы: бемит, каолинит, гематит, следы кварца и анатаза.

Для проведения опыта были подготовлены 4 сырьевые смеси: мрамор – боксит (№1), известняк – боксит (№2), мергель – боксит (№3) и мел – боксит (№4). Компоненты были взяты в соотношении 1:1. Для осуществления обжига методом спекания вначале были определены температуры плавления сырьевых смесей. А затем, на основе следующих расчетов  $T_{пл} - (20 - 30 \text{ }^\circ\text{C})$  была подобраны температуры синтеза: 1300°C (мрамор - боксит), 1250 °C (известняк – боксит), 1280 °C (мергель - боксит) и 1240 °C (мел - боксит). Время изотермической выдержки 60 мин. На рисунке 1 представлен фазовый состав полученных клинкеров.

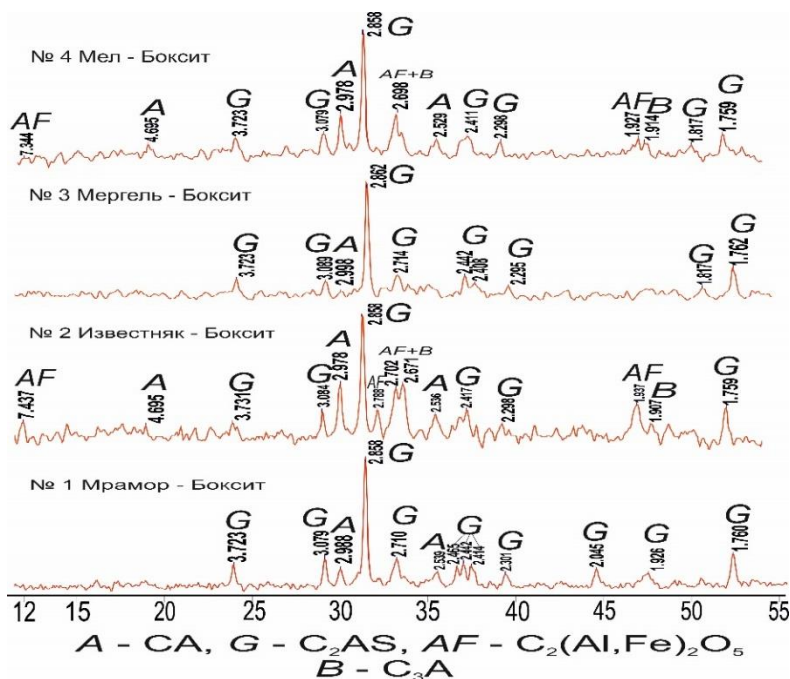


Рис. 1 Рентгенограммы синтезированных клинкеров

По данным РФА в образцах наблюдается наличие в составах № 2 и 4 моноалюмината кальция (CA), геленита (C<sub>2</sub>AS), алюмоферрита кальция и трехкальциевого алюмината (C<sub>2</sub>(Al,Fe)<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + C<sub>3</sub>A). В составах № 1 и 3 основной клинкерной фазой является алюмосиликат кальция (C<sub>2</sub>AS) и имеются следы моноалюмината кальция. Фазообразование при подобранных температурах синтеза считается законченным ввиду отсутствия свободного СаО.

Из полученных результатов видно, что более качественный фазовый состав наблюдается в составах № 2 и 4, в отличие от составов № 1 и 3, где сформировавшаяся основная фаза геленита не сможет обеспечить высокими показателями прочности цемент, так как не обладает вяжущими свойствами.

Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод, что реакционная способность карбонатных пород соответствует следующей последовательности (по убыванию) известняк - мел - мергель - мрамор. Это может быть связано с увеличением температуры синтеза до 1280 и 1300 °С для составов № 3 и 1, где моноалюминат кальция переходит в

стадию частичного распада на  $\text{CaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Это подтверждается дефектностью кристаллической решетки, то есть значениями полуширины остаточного количества фазы  $\text{CA}$  в составе № 1 - 0,3636 имп., в № 3 - 0,3646 имп., в сравнении с рентгенометрической характеристикой в составах № 2 и 4. Далее, образовавшиеся оксиды вступают в реакцию с избыточным количеством оксида кремния, и связываются в геленит, это хорошо видно, при увеличении интенсивности  $\text{C}_2\text{AS}$  в составе № 1 на 82,7 %, в № 3 на 59, 6 %, относительно интенсивности данной фазы в составе № 4.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ястреб, В. В. Перспективы использования глиноземистого цемента / В. В. Ястреб // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, Белгород, 01–20 мая 2017 года. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2017. – С. 565-569. – EDN XQPQYX.

2. Дроздов, О. И. Особенности гидратации глиноземистого цемента и добавки для его модификации / О. И. Дроздов // Международный студенческий строительный форум - 2018 (К 165-летию со дня рождения В.Г. Шухова): Сборник докладов: в 2-х томах, Белгород, 26 ноября 2018 года / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Том 2. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2018. – С. 250-253. – EDN PPLJOC.

3. Сжигание RDF-топлива с использование кислородного дутья / В. М. Коновалов, А. А. Гончаров, А. С. Федоров [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 10. – С. 79-86. – DOI 10.34031/2071-7318-2022-7-10-79-86. – EDN WALRAR.

4. Кузнецова, Т. В. Глиноземистый цемент / Т. В. Кузнецова, Й. Талабер. – Москва: Стройиздат, 1988. – 272 с. – ISBN 5-274-00217-X. – EDN YQMMPA.

5. Потапова, Е. Н. Влияние природы цементного сырья на процессы структурообразования при обжиге клинкера / Е. Н. Потапова, Л. М. Сулименко // Цемент и его применение. – 2010. – № 1. – С. 182-186. – EDN NYAINL.



**УДК 666.945.6**

**Романюк А.М.**

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМООБРАБОТАННЫХ СЛАНЦЕВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТА**

Цемент является одним из самых распространенных строительных материалов, поэтому многие компании стараются сделать этот материал дешевле путем оптимизации и модернизации, как оборудования, так и технологии производства. В данный момент заводы активно проводят модернизацию оборудования и замену устаревшего оборудования на современные аналоги. Так же производители ищут возможность уменьшения количества используемого клинкера в продукте.

Одним из способов снижения себестоимости выпускаемой продукции, является применение минеральных добавок. К минеральным добавкам следует относить вещества, вводимые в процесс в различных пропорциях от массы смеси, не ухудшающие строительные и технические свойства цемента.

На территории России находится большое количество разведанных залежей минералов. В настоящее время цементные заводы изучают возможность использования этих материалов для производства цемента.

На сегодняшний день ученые и производители заинтересовались использованием термообработанных глин разных месторождений. Цементные заводы проводили успешные испытания и получали качественный продукт.

Цель данной научно-исследовательской работы состоит в изучении возможностей использования термообработанных сланцев для получения композиционного вяжущего.

Работа предусматривает изучение эффекта от введения термообработанных сланцев на процесс помола цемента и на прочностные характеристики цементного камня.

В данной работе использовалась сырьевая база ООО «Горнозаводскцемент».

Последовательность эксперимента: готовилась фракция клинкера с размерами частиц 0,63 мм.

Таблица 1 – Химический анализ используемых сланцев %

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
16,95	55,71	0,35	7,27	1,74	4,03	0,89	0,11	0,68

Сланец для активации помещался в муфельную печь на 1ч. Полученная фракция вместе с сланцем и гипсом помещалась в мельницу объемом 1 л. Помол считался завершенным при достижении удельной поверхности ~ 300 м<sup>2</sup>/кг.

Далее производилось формование образцов с последующей проверкой на прочность.

Для оценки эффективности использования добавки производилась проверка прочности цемента без добавок.

Эффективность использования добавки оценивалась по прочностным характеристикам полученным на 3, 14 и 28 сут.

Результаты исследований представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 2 – Влияние добавки обожженных при 550°C сланцев на прочность цементных образцов

Кол-во сланцев, %	Прочность 3 сут., МПа	Прочность 14 сут., МПа	Прочность 28 сут., МПа
Без добавочный	53	65	71
5%	39	62	72
10%	38	55	69
15%	34	58	68
20%	24	50	66
30%	17	31	40

Таблица 3 – Влияние добавки обожженных при 450°C сланцев на прочность цементных образцов

Кол-во сланцев, %	Прочность 3 сут., МПа	Прочность 14 сут., МПа	Прочность 28 сут., МПа
Без добавочный	53	65	71
5%	28	53	66
10%	32	56	65
15%	16	47	50
20%	15	44	47
30%	11	27	40

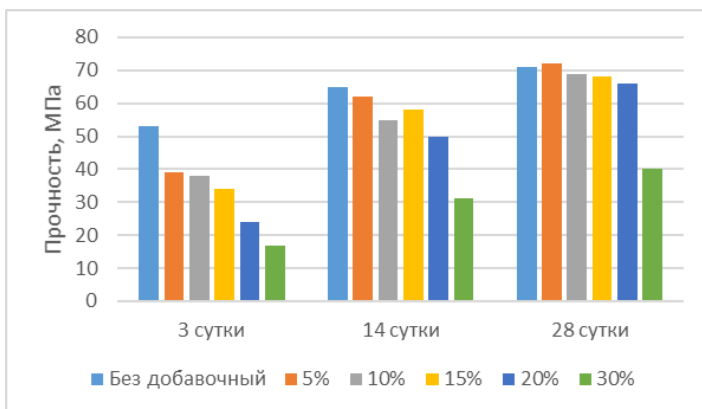


Рис. 1 Зависимости прочности цементных образцов от кол-ва сланцев обработанных при 550 °С

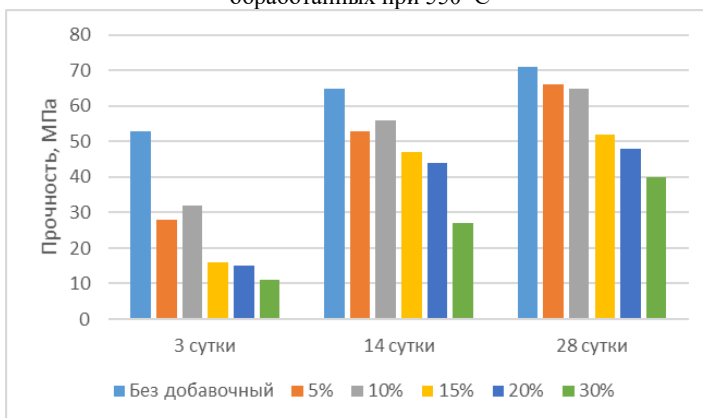


Рис. 2 Зависимости прочности цементных образцов от кол-ва сланцев обработанных при 450 °С

Таблица 4 – Зависимость времени помола от количества добавляемых сланцев обработанных при 550 °С

Добавка, %	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг	Время помола, мин
Без добавочный	311	37
5%	305	25
10%	323	23
15%	322	20
20%	329	16
30%	326	11

Таблица 5 - Зависимость времени помола от количества добавляемых сланцев обработанных при 450 °С

Добавка, %	$S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг	Время помола, мин
Без добавочный	311	37
5%	308	30
10%	312	25
15%	324	20
20%	333	15
30%	298	9

При вводе добавок замечено уменьшение времени помола и увеличение удельной поверхности полученного цемента.

При добавлении обработанных при 550°С сланцев наибольшую прочность показали образцы с добавкой в 5 %, в сравнении с контрольным цементом. Однако и другие образцы показали высокую прочность в сравнении с без добавочным цементом. Увеличение количества сланцев ведет к уменьшению прочности цементного камня.

При вводе добавки сланцев обработанных при 450°С, отмечалось уменьшения времени помола и уменьшение прочности. Наибольшую марочную прочность показали цементы с добавлением 5% и 10% сланцев. Остальные образцы, по сравнению с контрольным показали низкую прочность.

Вывод:

На основании данных, полученных в ходе выполнения научно-исследовательской работы установлено:

- при вводе добавки время помола цемента снижается;
- прочность образцов с добавкой обожженной при 550°С больше, чем прочность образцов с добавкой обработанной при 450°С.

## 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. Теория цемента / Пащенко А.А., Мясникова Е.А., Гумен В.С. и др. / Ред. Пащенко А.А. — К.: Будівельник, 1991. - 168 с.
3. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. Учебник для вузов / Под редакцией Тимашева В.В. – М.: Высш. школа, 1980. – 472 с.

## **СПОСОБЫ СНИЖЕНИЯ ВЫСОЛООБРАЗОВАНИЯ В ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЯХ**

В производстве строительных материалов основной задачей является получение и сохранение свойств, которые важны при эксплуатации изделий. Науке известно, что первоначальные свойства могут изменяться в результате появления на лицевой поверхности строительных конструкций светлых цветовых тонов, называемых «высолами». Данное явление присуще изделиям, в состав которых входит портландцемент.

Актуальной задачей в современном мире является борьба с высолообразованиями в хризотилцементной промышленности. Последнее время в строительстве широко и повсеместно используют плоские листы для облицовки зданий, но данная проблема нарушает внешний вид кровельных листов и уменьшает срок их службы.

Асбестоцементная промышленность является одной из важнейших подотраслей промышленности строительных материалов. Изделия данного производства различны и пользуются спросом, например, такие как листы и трубы.

Под высолом понимают белые отложения, которые представляют собой различные химические соединения в виде кристаллов. Негатив этих образований связан, прежде всего, с потерей декоративного вида строительных конструкций.

Высолы – это смесь многих химических соединений: карбонатов, сульфатов, калия, хлоридов и т.д. Большая часть таких веществ хорошо растворяются в воде, поэтому они быстро вымываются наружу изделий под воздействием окружающей среды.

Наиболее распространенными высолом являются две группы химических соединений:

— карбонатно-кальциевые, состоящие в основном из  $\text{CaCO}_3$ , которые образуются при выносе на поверхность отвердевшего раствора гидроксида кальция.

— сульфатно-натриевые, которые образуются при выносе на поверхность изделия сульфата натрия.

Все строительные изделия на основе цементных бетонов так или иначе подвержены образованию высолов. Если рассуждать в общем,

этому есть две главные причины: первая – химическая природа материала, в состав которого входит портландцемент; вторая – условия использования изделий, когда могут наблюдаться миграционные процессы воды в структуре. Под второй причиной следует понимать, что в изделии должен происходить циклический процесс, который состоит из переменного увлажнения и высушивания.

Интенсивность образования высолов на бетоне зависит от количества влаги, прошедшей в жидкой фазе к поверхности, химического состава и концентрации растворимых солей при испарении воды и величины поверхности, с которой происходит испарение влаги.

Современные технологии позволили создать усовершенствованные стройматериалы, которые помогают сделать изделия более долговечными. Одним из таких средств является гидрофобизатор. Принцип действия гидрофобизирующих жидкостей заключается в том, что силиконы попадают в толщу обрабатываемого материала и затем полимеризуются, создавая водоотталкивающий паропроницаемый слой.

Применение гидрофобизаторов противодействует проблеме высолообразования, но не решает её. Поэтому можно попробовать связать в водонерастворимые соединения главные источники высолов. При использовании портландцементов это гидроксиды кальция и магния. Но введение добавок в том количестве, которое необходимо для связывания всего гидроксида кальция, понизит скорость твердения бетона и скажется на его стоимости. Поэтому важной задачей является поиск таких добавок, которые не повлияют на характеристики изделий, а так же не приведут к подорожанию строительных материалов.

Для выявления причин высолообразования в хризотилцементных изделиях сначала нужно рассмотреть варианты, которые лежат на поверхности.

Так как вода играет важную роль в производстве хризотилцементных изделий, нужно провести её анализ. Так как в технологии изготовления вода имеет замкнутый цикл, имеются догадки, что в воде присутствует большое количество растворимых щелочей, и проблема высолов в хризотилцементных изделиях заключается именно в ней. В таблице 1 представлена концентрация щелочей в воде после рекуператора.

Таблица 1 – Концентрация щелочных катионов в воде

№ пробы	Катион	Содержание, мг/дм <sup>3</sup>	Оксиды	% масс.
Вода после рекуператора	Na	320±32	Na <sub>2</sub> O	0,086
	K	1600,0±160	K <sub>2</sub> O	0,386

По полученным результатам можно сказать, что содержание щелочей относительно не большое, но это растворимые щелочи. А для изделий, с высокими требованиями по высолообразованию, нужно стараться снизить их концентрацию.

Анализ пробы асбеста выявил преимущественно хризотил. Но важным является содержание щелочей, которое соответствует 0,0033%. Можно сделать вывод, что щелочи практически отсутствуют и не повлияют в дальнейшем на процесс высолообразования.

В производстве ХЦИ применяется цемент, его минералогический состав представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Минералогический состав цемента

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
63,46	10,85	8,45	9,9

Представленный минералогический состав показывает, что концентрация алита выше нормы и предельна концентрация C<sub>3</sub>A. Данные значения не соответствуют требованиям к цементу для шиферного производства. К тому же содержание этих минералов должно способствовать появлению высолов (причем кальциевых). А вот содержание щелочей в цементе равно 0,65%, что допускается для шиферного производства.

Чтобы попытаться снизить высолообразование в хризотилцементных изделиях, в образцы были введены добавки. Такие как соапсток, трепел и два вида различных глин, обожженных при температуре 500°C. Сухие компоненты для снижения высолов вводили в количестве 1, 3 и 5%. Соапсток же вводился в количестве 1,2,3 капель и 1 мл.

Польза добавок представленных компонентов была проверена с помощью двух опытов.

Первым испытанием является определение водопоглощения образцов, от него зависит выход растворимых солей наружу. Результаты эксперимента показали, что каждая добавка влияет на водопоглощение образцов, если сравнивать с бездобавочным.

Лучший результат показала добавка с трепелом 5% и добавка михайловской глины 5%. В сравнении с бездобавочным образцом водопоглощение снизилось с 17% до 4%. Если сравнивать в среднем по 1, 3 и 5 %, то лучший результат по постепенному снижению водопоглощения имеет михайловская глина. При введении в образец 1 мл соапстока снижение водопоглощения показывает еще лучший

результат. Если при использовании 5% трепела водопоглощение снизилось до 4%, то при введении 1 мл соапстока результат равен 2%.

Вторым испытанием является определение высолообразования по количеству выделившихся щелочей методом водных вытяжек. На рисунке 1 приведена сводная диаграмма, в которой для каждого из образцов представлено суммарное содержание щелочей. Где Б,М,Т означают белгородскую и михайловскую глины, и трепел. А 1,3,5 – ввод в процентах каждой добавки.

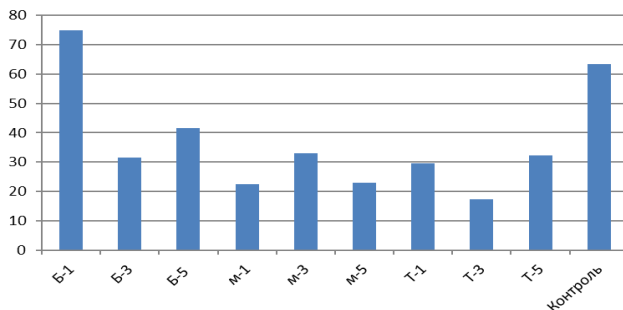


Рис. 1 График содержания щелочей в каждой вытяжке из образца при введении определенной добавки

Опираясь на полученные значения научной работы можно сделать вывод, что наименьшее количество щелочей выделилось при использовании трепела и михайловской глины. Сильнее всех выделяется результат использования 3% трепела в качестве добавки, процент выделившихся щелочей снизился на 73% относительно контрольного образца. Хотя применение 1% и 5% михайловской глины дали почти такие же результаты, количество щелочей снизилось на 65%. А вот при введении 1% белгородской глины получен отрицательный результат, суммарное количество щелочей наоборот увеличилось на 18%.

Таким образом можно сделать вывод, что борьба с высолообразованием в хризотилцементных изделиях может вестись при помощи введения различных добавок еще на стадии помола цемента, а так же на этапе смешения всех компонентов при производстве ХЦИ, что придаст строительным материалам необходимые качества по снижению высолообразования.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высолы на поверхности бетонных вибропрессованных изделий/ сост.: Ю.Б. Костиков, Е.Е. Маслова, В.Д. Староверова: Изд-во «АПВИ», 2018. – 18с.
2. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. – М.:Высш.школа, 1980.-472 с.
3. Популярное бетоноведение/ сост.: В.И. Корнеев: Изд-во «Вестник СибАДИ», выпуск 6(14), 2006. – 48с.
4. Гидрофобизация фасадов и придание им водоотталкивающих свойств: Изд-во «ТД СТРОЙМОСТ», 2020 г.
5. Исследование влияния добавки ХСТН на развитие коррозии и образование высолов на поверхности бетона/ сост.: О.О. Кудерская: Изд-во «КузГТУ», 2017 г.
6. Разработка состава минеральной добавки для предотвращения высолов на поверхности бетона/сост.:Т.М. Судникович. – Белгород: Изд-во БГТУ
7. И.И. Берней., В.М. Колбасов. Технология асбестоцементных изделий. М.: “Высшая школа”.1985. – 85 с.
8. Т.Н. Кухта. Повышение долговечности полимерного покрытия асбестоцементных листов при использовании гидрофобизатора. – Минск: Изд-во БелНИИС, 2010 г.
9. Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Белгород, 5-8 окт. 2010 г. / Белгор. гос. технол. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2010. – Ч.2. – 319 с.

**УДК 666.9.03**

**Саблин А.О.**

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

### **КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАКА ОАО «ЧЕРЕПОВЕЦКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ» В ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ**

В настоящее время стараются повысить качество существующих цементов, или же разработать новые, более эффективные и качественные. При этом добиться максимальной выгоды с

экономической точки зрения, снизив энергозатраты. Довольно эффективно будет производство вяжущих с применением активных минеральных добавок, в число которых входит шлак, что может обеспечить снижение затрат топлива и электроэнергии, а также возможность получения высоких по качеству строительных материалов[1].

Цель данной работы состояла в изучении возможности комплексного использования череповецкого шлака АО «Северсталь» в качестве компонента сырьевой смеси для получения портландцементного клинкера, а также основного компонента самого цемента.

Для выполнения данной работы были использованы сырьевые компоненты: белгородского месторождения мел и глина, огарки (г. Тула) и череповецкий металлургический шлак. В качестве контрольного образца и основного компонента вяжущих составов применялся цемент ЦЕМ I 52,5Н ЗАО «Осколцемент» с удельной поверхностью 353 м<sup>2</sup>/кг. Химический состав материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых компонентов, %

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Прочие
Мел	2,20	0,22	0,18	55,11	0,00	0,00	0,00	42,63	0,00
Глина	62,6	10,85	4,30	5,72	0,00	0,06	1,85	14,36	0,00
Огарки	4,66	1,32	69,92	17,21	1,37	0,83	0,41	4,02	0,00
Шлак	40,8	11,72	0,50	33,60	10,24	0,80	0,68	1,45	0,80
Цемент	19,46	5,85	3,68	63,85	1,49	0,15	2,74	1,61	0,53

Фазовый состав мела в основном представлен кальцитом и кварцем. Глина по своему составу представлена в основном кварцем и каолинитом но имеет незначительные примеси кальцита. Шлак представлен хорошо кристаллизованным кварцем и кальцитом, и имеет аморфную область в диапазоне 28-35 градусов. Огарки представлены гематитом, магнетитом, кварцем и кальцитом.

Изучение фазового состава шлака при его нагревании по результатам термического и рентгенофазового анализа установили изменение фазового состава при температурах 750°С и 950°С. При температуре 750°С шлак начинает выкристаллизовываться образуя юстит, а при температуре 950°С образуя аккерманит и титанит.

Исходя из химического и фазового состава сырьевых компонентов были разработаны смеси с заданными модульными характеристиками (КН=0,92, n=2,2 и p=1,2)[2], представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Химический состав разработанных смесей, %

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Прочие
Контрольная смесь, %									
Состав см.	14,14	3,51	2,92	43,24	0,03	0,04	0,37	35,60	0,14
Состав кл.	21,96	5,45	4,53	67,14	0,05	0,06	0,57	-	0,22
Экспериментальная смесь, %									
Состав см.	14,95	3,70	3,09	45,70	2,70	0,24	0,28	29,10	0,23
Состав кл.	21,09	5,22	4,36	64,46	3,81	0,34	0,39	-	0,32

Фазовый состав на основании представленных в таблице 2 клинкеров обеспечит получение C<sub>3</sub>S=63,42%; C<sub>2</sub>S=15,13%; C<sub>3</sub>A=6,76%; C<sub>4</sub>AF=13,77% для контрольного образца и C<sub>3</sub>S=60,91%; C<sub>2</sub>S=14,53%; C<sub>3</sub>A=6,44%; C<sub>4</sub>AF=13,25% для экспериментального. Несмотря на схожесть получаемых составов теплота клинкерообразования отличается на 556 кДж/кг (Q<sub>тэк</sub> контр. = 1785 кДж/кг, Q<sub>тэк</sub> эксп. = 1226 кДж/кг).

По результатам высокотемпературного синтеза было установлено отличие в минералогическом составе полученных клинкеров (рис. 1). В контрольном клинкере содержится больше алюминатной фазы, чем в экспериментальном (d=2.698-C<sub>3</sub>A; d=2.667-C<sub>4</sub>AF).

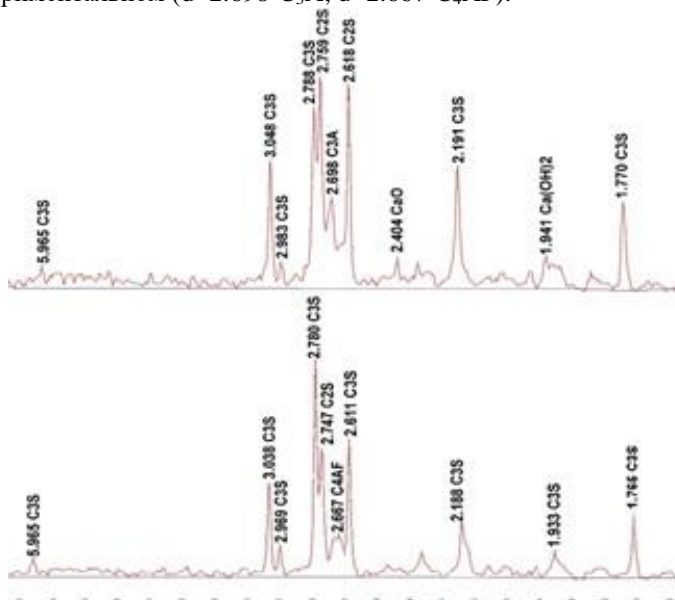


Рис. 1 Фазовый состав синтезированных клинкеров при T=1450°

Определение скорости усвоения CaO при обжиге установило отличительный характер (рис.2).

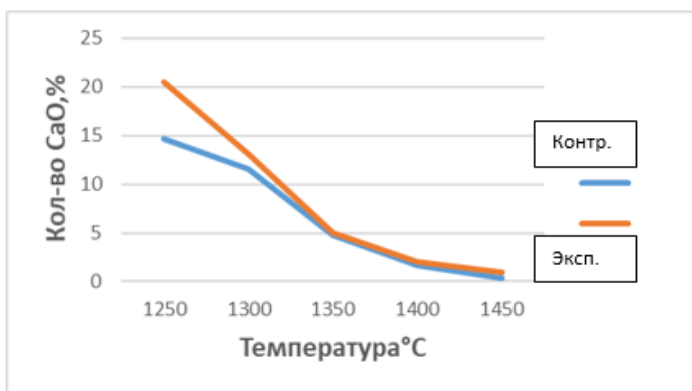


Рис. 2 Кинетика усвоения свободного оксида кальция

Анализ усвоения CaO св. показал, что разница при температуре 1250°C составила около 5%, однако при повышении температуры разница уменьшалась до 0,5%.

Поскольку шлак является трудноразмалываемым компонентом целесообразно на основе предыдущего опыта ряда исследований производить раздельный помол шлака и цемента с их последующим смешением.[4]. Исходя из вышесказанного было произведено определение кинетики измельчения шлака в шаровой мельнице, данные занесены в таблицу 3.

Таблица 3 – Определение тонкости помола и удельной поверхности шлака

Время Измельчения, мин	Остаток на ситах, %			Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг
	Сито №02	Сито №008	Поддон	
5	47	27	26	-
10	16	39	45	117
15	4,5	35	60,5	143
20	1	27	72	186
25	-	14	86	221
30	-	3,5	96,5	245
35	-	1	99	286
40	-	1	99	306

45	-	0,5	99,5	328
50	-	0,5	99,5	347

После 25 минут измельчения остаток на сите №008 менее 15%, но при этом нужная удельная поверхность в размере 350 м<sup>2</sup>/кг не достигнута. Нужная для смешивания цемента и шлака удельная поверхность была достигнута только после 50 минут его измельчения.

Измельченный шлак в количестве 15%, 30%, 50% смешивался с портландцементом ЗАО «Осколцемент» согласно ГОСТ 31108-2020 до получения однородной массы [3]. Результаты нормальной густоты, сроков схватывания и прочности занесены в таблицы 4,5.

Таблица 4 – Сроки схватывания и нормальная густота

Контрольный образец		Цемент/шлак, %		
		85/15	70/30	50/50
Кол-во воды для затворения	35%	33,5%	33,8%	35%
Начало схватывания	47 мин.	54 минуты	125 минут	95 минут
Конец схватывания	100 мин.	96 минут	95 минут	140 минут

Таблица 5 – Прочность при изгибе и сжатии

Образцы	2 сутки	7 сутки	28 сутки
85/15	48 МПа	60 МПа	75 МПа
70/30	32 МПа	43 МПа	58 МПа
50/50	25 МПа	36 МПа	64 МПа
Контр.обр.	49 МПа	67 МПа	71 МПа

Цемент с добавкой шлака требует меньшее кол-во воды на затворение. Образцы с большим кол-вом шлака твердеют дольше, чем контрольный. По прочностным характеристикам цемент с добавкой шлака уступает контрольным образцам по прочности на 2 и 7 сутки, однако на 28 сутки показатели прочности почти идентичны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутт Химическая технология вяжущих материалов. Учебник для вузов / Бутт Ю.М Сычев М.М., Тимашев // Под редакцией Тимашева В.В. – М.: Высш. школа, 1980. – 472 с.

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

3. Лугинина И.Г. Химия и химическая технология неорганических вяжущих материалов: В 2 ч. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004. – Ч.1. – 240 с.

4. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1972. – 240 с.

*УДК 68-5*

*Сибирцев Д.А.*

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

## **СИСТЕМА ОТОПЛЕНИЯ КОТТЕДЖЕЙ**

Сколько нужно термодатчиков для отопления коттеджа? Если для обычной схемы отопления применяется только один комнатный датчик температуры для газового котла, то при лучевой коллекторной схеме отопления таких датчиков может быть несколько. В таком случае регулировка температуры происходит для каждого помещения индивидуально.

Находящийся в каждой комнате температурный датчик для отопления направляет информацию на контроллер, который через блок управления регулирует независимую подачу теплоносителя от коллектора в нужное помещение для поддержания установленной температуры. Более подробно про автоматику для котлов можно прочитать в нашей статье «Существующая автоматика для котлов отопления».[1]

При работе нагревательных приборов требуется контролировать степень нагрева теплоносителя, а также воздуха в помещении. Снимать и передавать информацию помогают датчики температуры для отопления, сведения с которых могут считываться визуально либо сразу же направляться в контроллер.[2] Месту крепления подобные приборы делятся на следующие разновидности:

- накладные, крепящиеся к отопительному контуру;
- погружные, контактирующие с теплоносителем;
- комнатные, находящиеся внутри жилого либо служебного помещения;

– внешние, которые располагаются снаружи.

В некоторых агрегатах могут применяться одновременно несколько видов датчиков для контроля температуры.

В основу подобных устройств положен известный принцип расширения и сжатия веществ, наблюдаемый при нагреве или охлаждении. Такие датчики достаточно практичны. Они могут использоваться для определения температур в границах  $-60^{\circ}\text{C}$   $+400^{\circ}\text{C}$ .

В зависимости от высоты и местоположения разница в температуре составила 2,3; 2,9; 3,1; градуса для трех приборов. Они размещены рассредоточено по помещению и имеют низкую температуру ( $36,6^{\circ}$ ), поэтому такой характер и расположение источников не может способствовать созданию мощных конвективных струй. Кроме того, подача воздуха чаще всего осуществляется струями в верхнюю зону, что еще больше способствует снижению градиента. В общественных зданиях градиент температуры редко имеет большое значение, и температура воздуха в верхней зоне даже при значительной высоте помещения не может быть высокой, поэтому при проектировании вентиляции не следует задаваться большими значениями градиента. [3] На уровне около 5 см от пола самая низкая температура, на высоте 2-3 см от потолка самая высокая. На высоте 1,5 м все показывают одинаковую температуру (с учетом погрешности каждого, разница в показаниях составила 0,5 градуса; приемлемо). Так же есть разница при разном расстоянии от стены: вплотную, 3-4 см, 1 м. У стены температура ниже, ближе к центру комнаты теплее.

Теплопотеря ограждающей конструкции для лестничной площадки:  $Q = S * T / R$

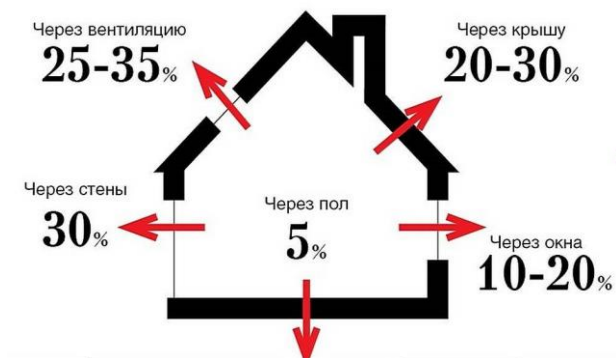


Рис. 1 Теплопотери коттеджа

Монтаж выносного датчика и регулятора осуществляется на свободном от деталей интерьера и мебели участке стены, разместив их

на высоте 1.2–1.6 м от пола. Сначала дюбелями к стене прикрепляется монтажная пластина, а потом на нее простым нажатием защелкивается корпус. Капиллярная трубка закрепляется к стене пластмассовыми хомутами, как правило, они идут в комплекте с изделием.[5]

Помимо штатной регулировки температуры в головках предусмотрена настройка терморегулятора на максимальный и минимальный пределы, дальше которых поворот колеса станет невозможным. Для этого предусмотрены ограничительные штифты, находящиеся в задней части изделия. Нужно вытащить один из них и после отладки системы вставить в отверстие под соответствующей меткой.

На функционирование регулятора влияют такие обстоятельства:

- наличие прямых солнечных лучей;
- циркуляция воздуха в комнате;
- температурный режим вне здания;
- посторонние источники холода или тепла в комнате.

В коттеджах термостаты, устанавливаются на верхних этажах, поскольку разогретый воздух идет кверху и температурная разница на верхних и нижних уровнях дома сильно разнится. Регуляторы нужно ставить по горизонтали труб, неподалеку от точки ввода в обогревательный прибор.[4]

В коттеджах рациональнее всего ставить панельные батареи малой емкости и оснащать их термостатами, быстро откликающимися на манипуляции термостатическими клапанами. Однако при этом нужно избегать радиаторов, прикрытых занавесками, декоративными покрытиями или решетками, а также другими предметами. В противном случае будет нарушена возможность правильной оценки температурного режима в помещении..[6] В помещениях будет рассмотрена подборка радиаторов отопления.

Эту рекомендацию можно обойти, если установить дистанционный датчик, находящийся от клапана на расстоянии 2-7 метров, что позволит контролировать температуру возле местонахождения контролирующего устройства. .[7]



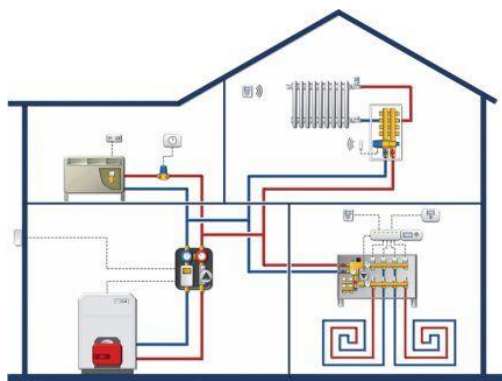


Рис. 2 Структурная схема автоматики отопления

Термостаты устанавливаются на верхних этажах, поскольку разогретый воздух идет кверху и температурная разница на верхних и нижних уровнях дома сильно разнится и по этой причине на первом этаже устанавливают больше радиаторов отопления, термостаты, чем на втором этаже и не стоит забывать о лестничной площадке т.к большая часть тепла уходит на отопление.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бриколаж. Ремонт в доме. В 4 книгах. Книга 4. Комфорт в доме. Вентиляция, отопление, сантехника, электричество. - М.: Вече, Ниола-Пресс, 2007. - 128 с.
2. Бриколаж. Ремонт в доме. Книга 2. Отделка потолков, стен и полов, напольные покрытия, вентиляция и отопление, сантехника и электричество. - М.: Ниола-Пресс, 2009. - 192 с.
3. Аш Датчики измерительных систем / Аш, др. Ж. и. - М.: Мир, 2017. - 904 с.
4. Минаев, Игорь Датчики: Справочное пособие / Игорь Минаев. - М.: Техносфера, 2018. – 432 с.
5. Фокин С.В. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: устройство, монтаж и эксплуатация [Текст]: учебное пособие для студентов образовательных учреждений профессионального образования / С. В. Фокин, О. Н. Шпортко. - М. : Альфа-М : ИНФРА-М, 2011. - 368 с.
6. Елистратова,Ю.В. Сравнительные критерии систем отопления/ Ю.В. Елистратова, А.С. Семиренко, В.А.Минко //Энергосбережение и экология в жилищно-коммунальном хозяйстве и строительстве городов, Белгород, 01.30.11. 2012.-Белгород,2012.-С.237-239.

7. Огаркова, Т.Г. К определению проектного расхода тепла на отопление/ Т.Г. Огаркова, Ю.В. Елистратова, А.С.Семиренко //Современные наукоемкие технологии.-2013.-№8-1.-С.44-48.

*УДК666.9.*

*Сиволгин В.И.*

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

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦЕВ КАК КОМПОНЕНТА СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ООО «ГОРНОЗАВОДСКЦЕМЕНТ»**

Предприятие ООО «Горнозаводскцемент» имеет в своем распоряжении карьер глинистых сланцев, но из-за большого количества щелочных оксидов не может его использовать.

Применение сырья, содержащего в качестве примесей щелочные соли, способность которых возгоняться при высоких температурах и конденсироваться при охлаждении обуславливает их накопление в слое материала является актуальной проблемой в производстве цемента [1-2], Иногда концентрация примесей  $R_2O$  ( $R=K, Na$ ) в материалах печной системы может достигать 5...13% и, следовательно, превосходить суммарное содержание основных оксидов [3].

Целью данной работы является определение эффективности использования некондиционного сырья (глинистых сланцев) в качестве глинистого компонента сырьевой смеси. Тем самым подобрать характеристики и состав сырьевой смеси, позволяющий получить качественный клинкер и снизить расход топлива на обжиг.

Для выполнения данной работы были использованы шламы, глинистые сланцы и гипс, привезенные с предприятия ООО «Горнозаводскцемент». А в качестве добавок использовались реагент  $Fe_2O_3$  и кварцевый песок ( $SiO_2$ ).

Последовательность эксперимента: Сланцы и шламы сушились при  $100^\circ C$  в сушильном шкафу, для устранения влажности. Далее материал измельчен в керамической ступке. Также были найдены потери при прокаливании шламов и сланцев в муфельном шкафу при температуре  $1000^\circ C$ .

После подготовки материала была рассчитаны сырьевые смеси, удовлетворяющие всем нормам качества табл. 1 и 2. По данным расчётам были приготовлены три сырьевые смеси, которые

формовались в таблетки по 10 мм и 30 мм в диаметре на гидравлическом прессе для дальнейшего обжига.

Обжиг сырьевых смесей проходил в лабораторной печи при 6 температурах: 1200°C, 1250°C, 1300°C, 1350°C, 1400°C, 1450°C.

Полученные клинкеры с добавлением гипса измельчались в шаровой мельнице до прохождения через сито с сеткой №008 и удельной поверхностью 350 м<sup>2</sup>/кг.

Затем проводилось затворение цементов водой, после чего происходило формование для получения образцов-кубиков, имеющих площадь граней 1,41×1,41 см. Образцы испытывались на 2 и 28 сутки после затворения. Результаты представлены в рис. 2.

Из клинкеров, обожжённых при температуре 1450°C, готовились аншлифы для микроскопического анализа. Микрофотографии приведены на рис. 5-7.

Таблица 1 – Расчет состава контрольной сырьевой смеси:

КН = 0,91    n = 2,4    p = 1,3

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Прочие	Сумма
Известняк	3,35	1,28	0,56	51,32	0,97	0,038	0,09	42,172	0,22	100
Глина	49,38	14,94	6,4	11,06	1,89	0,13	1,49	13,09	1,62	100
Огарки	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100
песок	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100

#### Результат расчёта химического состава сырьевой смеси и клинкера

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Прочие	Сумма
Известняк	2,66	1,02	0,45	40,80	0,77	0,03	0,07	33,53	0,17	79,5
Глина	7,67	2,32	0,99	1,72	0,29	0,02	0,23	2,03	0,25	15,52
Огарки	0,00	0,00	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13
песок	3,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,84
Состав сырьевой смеси в %	14,17	3,34	2,57	42,52	1,06	0,05	0,30	35,56	0,42	100
Состав Клинкера в %	21,99	5,18	3,99	65,98	1,64	0,08	0,47		0,65	100

#### Соотношение компонентов

Наименование	Низкий шлам	Высокий шлам	Огарки	песок	Всего
Сырьевая смесь	79,50	15,53	1,13	3,84	100
Клинкер	71,34	20,95	1,75	5,96	100

#### Минералогический состав клинкера

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	MgO	Сумма
61,00	17,04	6,96	12,13	1,64	98,77

ТЭК – 1781 кДж/кг кл (425 ккал/кг кл)

Таблица 2 – Расчет состава сырьевой смеси с заменой глины на сланцы:

$$KH = 0,91 \quad n = 2,4 \quad p = 1,3$$

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Прочие	Сумма
Известняк	3,35	1,28	0,56	52,32	0,97	0,038	0,09	41,22	0	100
Сланцы	59,54	17,83	7,46	0,56	1,81	0,11	5,7	7	0	100,01
песок	100	0	0	0	0	0	0	0	0	100
Огарки	0	0	100	0	0	0	0	0	0	100

#### Результат расчёта химического состава сырьевой смеси и клинкера

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O	ППП	Прочие	Сумма
Известняк	3,17	0,92	0,41	42,84	0,76	0,09	0,10	33,86	0,00	82,15
Сланцы	8,18	2,45	1,02	0,08	0,25	0,02	0,78	0,96	0,00	13,74
песок	2,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,96
Огарки	0,00	0,00	1,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,16
Состав сырьевой смеси в %	14,31	3,37	2,59	42,92	1,01	0,11	0,88	34,82	0,00	100
Состав Клинкера в %	21,95	5,17	3,97	65,85	1,55	0,17	1,35		0,00	100

#### Соотношение компонентов

Наименование	Известняк	Сланцы	песок	Огарки	Всего
Сырьевая смесь	82,15	13,74	2,96	1,16	100
Клинкер	74,08	19,60	4,54	1,78	100

#### Модульные характеристики

Сырьевая смесь	KH = 0,91	n = 2,40	p = 1,30
Клинкер	KH = 0,91	n = 2,40	p = 1,30

#### Минералогический состав клинкера

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	MgO	Сумма
60,89	17,01	6,97	12,07	1,55	98,49

ТЭК – 1711 кДж/кг кл (409 ккал/кг кл)

По расчётам видно, что сланцы имеют меньшие потери при прокаливании в сравнении с глиной. Это определяет снижение теплового эффекта клинкерообразования (ТЭК). Разница составляет 70 кДж/кг клинкера (табл. 1 и 2), следовательно нужно затрачивать на 2,4 кг условного топлива меньше на 1 тонну клинкера при обжиге сырьевой смеси с использованием сланцев. В составе клинкера с заменой глины на сланцы содержание R<sub>2</sub>O превышает допустимые значения и составляет 1,35%. Поэтому было принято решение ввести в сырьевой состав двухводный гипс (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O) для нейтрализации щелочных оксидов.

Фазовый состав продуктов обжига по данным дифракционного анализа позволил установить более раннее формирование фазы алита

(1250 °C) в контрольной смеси, и некоторую задержку формирования этой фазы в смесях с использованием глинистых сланцев (1300°C), что вероятно связано с наличием щелочных оксидов. На рис. 1 приведены дифрактограммы клинкеров окончательного обжига, на которых, при схожести составов силикатных фаз, фиксируются некоторые отличия в соотношении алюминатов и алюмоферритов. При одинаковом химическом составе сырьевых смесей, в клинкерах со сланцами четко фиксируется фаза  $C_3A$ , тогда как в контрольных клинкерах преобладает  $C_4AF$ .

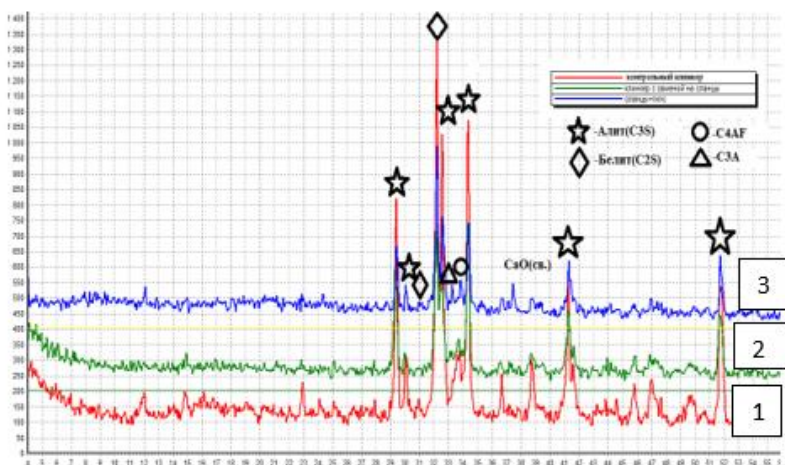


Рис. 1 Дифрактограммы клинкеров:

1-Контрольный клинкер; 2- Клинкер с заменой глинистого компонента на сланцы; 3- Клинкер с заменой глины на сланцы с добавлением гипса.

В клинкерах из смесей с добавлением гипса, фиксируется наличие  $CaO(sv.)$  в количестве 1,8 %. ( $d=2.41\text{Å}$ ), что говорит о незавершенном процессе обжига.

По прочности на сжатие образцов из цементов, приготовленных с  $В/Ц = 0,28$ , приготовленных из сырьевой смеси на сланцах, почти не уступает контрольной смеси с глинистым компонентом. Сырьевой состав с добавлением гипса показал более высокие значения на вторые сутки, но не набрал должной прочности и уступил первым двум образцам (рис. 2).

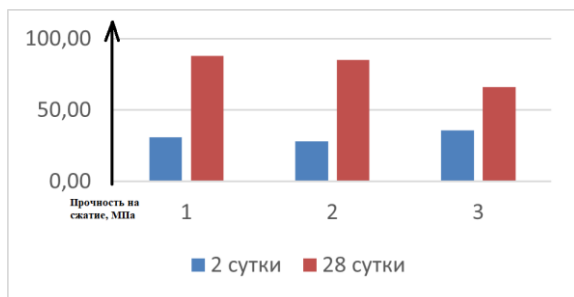


Рис. 2 Прочность цементов при сжатии, в возрасте 2 и 28 суток в МПа:  
 1-Контрольный клинкер; 2- Клинкер с заменой глинистого компонента на сланцы; 3- Клинкер с заменой глины на сланцы с добавлением гипса.

Это можно объяснить тем, что щелочные соединения в клинкере, как правило, ускоряют процессы гидратации и набора прочности цементного камня на ранней стадии твердения, до 3...7 суток, и снижают активность клинкера к 28 суткам.

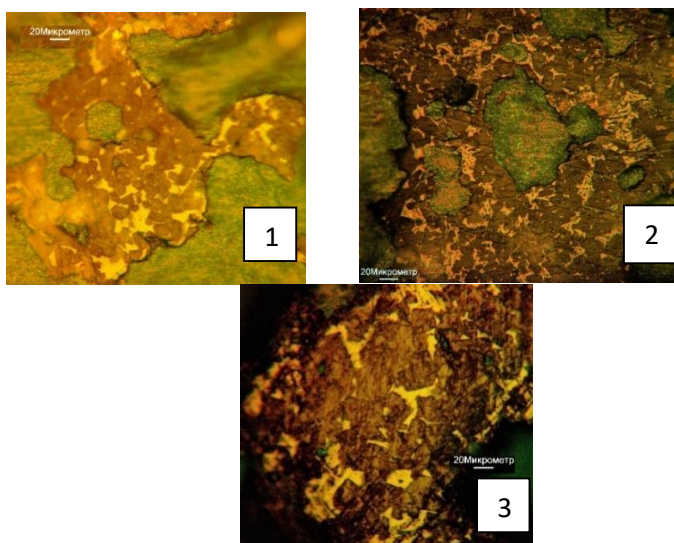


Рис. 3 Микроструктура клинкеров:  
 1-Контрольный клинкер; 2- Клинкер с заменой глинистого компонента на сланцы; 3- Клинкер с заменой глинистого компонента на сланцы;

Микроструктура клинкеров демонстрирует, что в первых двух образцах (рис. и б) отличия не прослеживаются. Кристаллы алита имеют срощенную, несовершенную структуру, без чётких граней с округлой формой. В тоже время состав с добавлением гипса (рис.3) имеет кристаллы алита более крупного размера, это можно объяснить влиянием гипса на клинкерообразование.

Выводы:

1. Использование сланцев в качестве глинистого компонента обеспечивает снижение расхода топлива за счет снижения (ТЭК), затрачивать более чем на 2,4 кг условного топлива меньше на 1 тонну клинкера при обжиге сырьевой смеси.

2. Использование сланцев замедляет температуру образования алита почти на 50°C, однако продукты конечного обжига идентичны, контрольному образцу.

3. Повышенное содержание глинозёма в составе сланцев увеличивает долю  $C_3A$  в составе клинкеров.

4. Введение  $SO_3$  увеличивает размер кристалла алита, что должно сказаться на темпах набора прочности при твердении цементов.

5. Прочность цементных образцов на сланцах сопоставимо прочности контрольных образцов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. Учебник для вузов / Под редакцией Тимашева В.В. – М.: Высш. школа, 1980. – 472 с.

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

3. Лугинина И.Г. Химия и химическая технология неорганических вяжущих материалов: В 2 ч. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004. – Ч.1. – 240 с.

*Смагина А.Р.*

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

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ДИАТОМИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Строительство в большей степени всегда имело зависимость от уровня развития промышленных предприятий связанных со строительными материалами.

Теплоизоляционные материалы относятся к самым эффективным строительным материалам, которые могут снизить материалоемкость и стоимость каких-либо строительных конструкций, а также могут повысить степень индустриализации строительства [1].

Теплоизоляционные материалы – это те строительные материалы, которые характеризуются малой теплопроводностью. По виду основного сырья они подразделяются на неорганические, которые изготавливаются в общем на основе различных видов минерального сырья, органические, сырьем для них служат природные органические материалы (торф) и материалы из пластических масс [2].

В зависимости от жесткости (относительной деформации) выделяют материалы мягкие (минеральная и стеклянная вата, вата из каолинового и базальтового волокна), полужесткие (плиты из шпательного стекловолокна на синтетическом связующем и др.), жесткие (плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем), повышенной жесткости (ПЖ), твердые (Т).

Биостойкость – это главное качество, которым должен обладать каждый теплоизоляционный материал. Такой материал не подвергается гниению и порче насекомыми и грызунами [3-4].

Малая теплопроводность теплоизоляционных материалов обусловлена их высокопористым строением. Воздух, который заполняет поры и находится в спокойном состоянии, является плохим проводником теплоты и создает огромное сопротивление теплопередаче.

Следовательно, можно сделать вывод, что отличительной особенностью теплоизоляционных материалов является высокопористая структура. Главная функция теплоизоляционных материалов – устройство тепловой изоляции ограждающих



конструкций зданий и сооружений, технологической аппаратуры, тепловых и холодильных установок и различных трубопроводов.

При использовании в строительстве таких материалов можно в огромном количестве снизить массу сооружений, таким образом, достигается экономия материальных ресурсов. Именно из этого может следовать понижение цен на транспорт, а также на производство монтажных работ. Также при создании новых видов теплоизоляционных материалов, происходит сокращение расхода топлива на топку зданий и повышение комфорта во всех сооружениях. Происходит спад перевозок строительных материалов, за счет снижения массы зданий, но также это всё дает огромный экономический эффект, исчисляемый в масштабе страны десятками миллиардов рублей.

Преимущественное увеличение выпуска эффективных теплоизоляционных материалов является важнейшей чертой развития производства этих материалов.

С помощью ученых происходит расширение номенклатуры теплоизоляционных материалов, которые предназначены для строительства, также ведется разработка новых приемов для получения этого продукта, которые обеспечивают энерго- и ресурсосбережение [5].

Теплоизоляционные материалы в огнеупорной футеровке теплового агрегата выполняют главную задачу – сохраняют тепло и поддерживают температуру на требуемом технологическом уровне [6-7]. Диатомитовые изделия имеют низкую теплопроводность, по сравнению с другими теплоизоляционными, а по технико-экономическим показателям их преимущество еще более заметно [8].

Примером использования диатомитовых изделий является ООО «Диатомит – Инвест». Они производят теплоизоляционные обжиговые изделия в виде кирпича, также пористый заполнитель для бетонов. У них ведется изготовление двух видов теплоизоляционных кирпичей: пенодиатомитовые изделия по шликерной технологии и диатомитовые изделия, которые получаются путем введения выгорающих добавок по технологии пластического формования. Главным недостатком таких изделий является низкая прочность. Для получения кирпича с хорошей фактурой с заданными теплоизоляционными свойствами применяются несколько добавок, которые могли повысить прочность керамического изделия и облегчить массу. Главными добавками являются плавни, известняк и могут быть опилки [9].

Диатомит является метастабильным материалом, который обладает избыточной энергией. При нагревании неустойчивый при

низких температурах метастабильный диатомит переходит в кристаллическое стабильное состояние, которое называется кристобалит. Температура перехода зависит напрямую от избыточной энергии диатомита и составляет выше 800 °С.

Главной актуальностью работы является проблема создания экологически чистых, а также долговечных теплоизоляционных материалов. Уровень развития ряда производств напрямую зависит от их качества развития.

Получение керамобетонов на основе высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (ВКВС) открыло перспективное направление в создании новых теплоизоляционных материалов. Основным преимуществом таких материалов является достаточно низкая микропористость образующихся межпоровых перегородок и как следствие их высокая прочность, экологическая чистота на всех этапах производства, а также возможность использования дешевого природного и техногенного сырья.

В данной работе на основе диатомита Инзенского месторождения, была получена суспензия по методу ВКВС с добавкой в качестве электролита 5% жидкого стекла. Продолжительность помола составила около 15 часов, до полного прохода через сито № 0,063. Полученная диатомитовая суспензия имеет следующие характеристики: плотность 1,325 г/см<sup>3</sup>, коэффициент загустеваемости 1,5, влажность 54 %.

На характер текучести дисперсной системы существенно влияет изменение вязкости в зависимости от условий движения среды, от чего также зависит и текучесть шликеров. Реологические характеристики определили на ротационном вискозиметре «Reothest-2». По характеру течения полученная суспензия является тиксотропной (рис. 1).

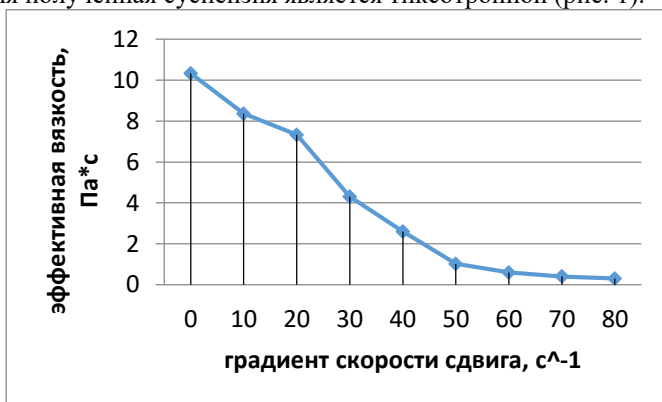


Рис. 1 Изменение эффективной вязкости от градиента скорости сдвига для диатомитовой суспензии.

При приготовлении шлакощелочного вяжущего использовалось жидкое стекло с плотностью 1,26 г/см<sup>3</sup>. В качестве отвердителя жидкого стекла шлак Северского трубного завода. Чтобы обеспечить высокую степень оборачиваемости форм, снижение усадки и высокое качество выпускаемой теплоизоляции, необходимо использовать в составе шлакощелочных вяжущих шлаки с требуемой активностью [5]. Для этого шлак предварительно измельчался в шаровой мельнице.

Для получения пены использовался пенообразователь ПБ-2000 (ТУ 2481-185-05744685-01), который используется как порообразователь при получении теплоизоляционных материалов. Он представляет собой концентрат в виде прозрачной однородной жидкости от светло-желтого до коричневого цвета, в работе применяли 3% водный раствор.

Изготовление теплоизоляционных материалов осуществляли пенометодом, т.е. смешиванием предварительно приготовленных пены на основе ПАВ и суспензии со шлакощелочным вяжущим.

Для исследований были приняты составы пеномасс, которые представлены в таблице.

Таблица - Составы пеномасс

Материал	Составы			
	1	2	3	4
	Содержание компонентов, %			
Диатомит	90	85	80	70
Шлак	8	12	16	24
Жидкое стекло	2	3	4	6

Образцы (кубы с ребром 50 мм) получали методом литья в предварительно смазанные солидолом металлические формы. В формах образцы выдерживали в течение 1 суток, затем высушивали в сушильном шкафу при температуре 80°C до остаточной влажности около 6%. Образцы обжигали в муфельной печи при температуре 850 и 900°C с выдержкой 1 час при 650°C и максимальной температуре.

Таким образом, на основании проведенных исследований было установлено, что использование шлакощелочного вяжущего при производстве теплоизоляционных пенодиатомитовых материалов с использованием технологии ВКВС, позволяет получать изделия с различной плотностью и прочностью при сжатии. Использование диатомита в виде суспензии позволяет снизить влажность шликера до 54%, это почти на 15 % ниже влажности заводских составов. В свою

очередь это приведет к снижению общей усадки, времени сушки и уменьшению расхода материалов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карандашов Д.Л., Куприяшкина Л.И., Мещеряков А.Е., Муханов М.А., Нурлыбаев Р.Е. Атемарский диатомит как сырье для получения микрокремнезема [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/atemarskij-diatomit-kak-syre-dlya-polucheniya-mikrokremnezema>

2. Кашеев И. Д. Эффективная теплоизоляция тепловых агрегатов / И. Д. Кашеев // Огнеупоры и техническая керамика. - 2006. -№11.- С. 32.

3. Абдрахимов В. З. Теоретические и технологические аспекты использования техногенного сырья в производстве теплоизоляционных материалов / В. З. Абдрахимов. - Самара : Самарская академия государственного и муниципального управления, 2010. – 72 с.

4. Дороганов В. А., Дороганов Е. А., Евтушенко Е. И., Перетокина Н. А., Бедина В. И., Данилова О. Ю., Гоголевская О. В. Огнеупорные материалы на основе искусственной керамической вяжущей суспензии карбидокремниевых состава / В.А. Дороганов [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2013. - №4. - С. 156-160.

5. Перетокина Н. А., Дороганов В. А. Разработка и исследования составов масс и технологии приготовления шамотных теплоизоляционных огнеупоров / Н. А. Перетокина, В. А. Дороганов // Новые огнеупоры. - 2011. - №2. - С. 27 – 29.

6. Зарубина Л. П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы, технологии. /Л. П. Зарубина.- М.: ИДПО "Атомпроф", 2020. - 240 с.

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/ Е. И. Евтушенко [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2013.- №6.- С. 149-151

8. Кашеев И. Д. Химическая технология огнеупоров: учеб. пособие / И. Д. Кашеев -М.:ИнтерметИнжиниринг, 2007. – 752 с.

9. Соков В. Н. Энергоэффективная скоростная технология получения высокотемпературных теплоизоляционных материалов: учеб. пособие / В. Н. Соков. - М.: НИУ МГСУ, 2019. – 476 с.

*Соловьева О.Г., Бурыкина М.О.*

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

## **ВЛИЯНИЕ ФОСФОГИПСА НА СТАБИЛИЗАЦИЮ АКТИВНЫХ ФАЗ БЕЛИТА В СТАЛЕПЛАВИЛЬНОМ ШЛАКЕ**

В связи с тем, что в России имеется очень большое количество металлургических предприятий – в настоящее время остро стоит вопрос о переработки техногенных отходов металлургической промышленности. С каждым годом их количество возрастает, и соответственно повышается уровень загрязнения окружающей среды. Данную проблему можно решить повторным использованием металлургических шлаков в другом производстве. Как нельзя лучше для этого подходит цементная промышленность. Ведь благодаря своему химическому и минералогическому составу шлаки могут применяться как активная минеральная добавка в цемент [1].

В данной работе используется сталеплавильный шлак, который является отходом производства стали в открытых агрегатах, в основном он представлен двухкальциевым силикатом  $C_2S$ , который, как известно, имеет пять полиморфных модификаций [2-3]. Из-за особенностей производства в шлаке образуется гидравлически неактивная фаза  $\gamma-C_2S$ , которая будет отрицательно влиять на строительно-технические свойства цемента. Однако в литературных источниках [4-6] указывается на возможность стабилизации гидравлически активных фаз белита, которые могут улучшить ряд основных свойств цементного камня.

Исследования проводились со сталеплавильным шлаком ОЭМК, который по своему химическому составу близок к цементной сырьевой смеси, однако отличается повышенным содержанием оксидов железа и магния.

По минералогическому составу шлак представлен: двухкальциевым силикатом  $\gamma-C_2S$ , гидросиликатом кальция  $C_2SH(A)$ , оксидами железа  $Fe_2O_3$  и  $FeO$ , кальциймагниевыми силикатами  $C_7MS_4$  и  $C_5MS_3$ , а также  $MgO$  и  $Mg(OH)_2$ .

Для изучения возможности стабилизации в шлаке активных белитовых фаз в качестве добавки-стабилизатора в работе использовался фосфогипс. Он является побочным продуктом химического производства фосфорной кислоты, получаемый в процессе сернокислого орошения природных апатитов и фосфоритов.

Химический состав фосфогипса свидетельствует, что основными оксидами в нём являются  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$ (т), а также присутствует небольшое количество  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Минералогический состав гипсосодержащего отхода представлен в основном двухводным гипсом.

Стабилизацию проводили путём предварительного равномерного измельчения и усреднения шлака и фосфогипса (в количестве 1,9; 2,3 и 2,7% в цемент), которые в последующем обжигались в лабораторной муфельной печи в виде таблеток при температуре  $900^\circ\text{C}$  и выдержке 1 час.

После обжига проводился рентгенофазовый анализ полученных спёков (Рис.1).

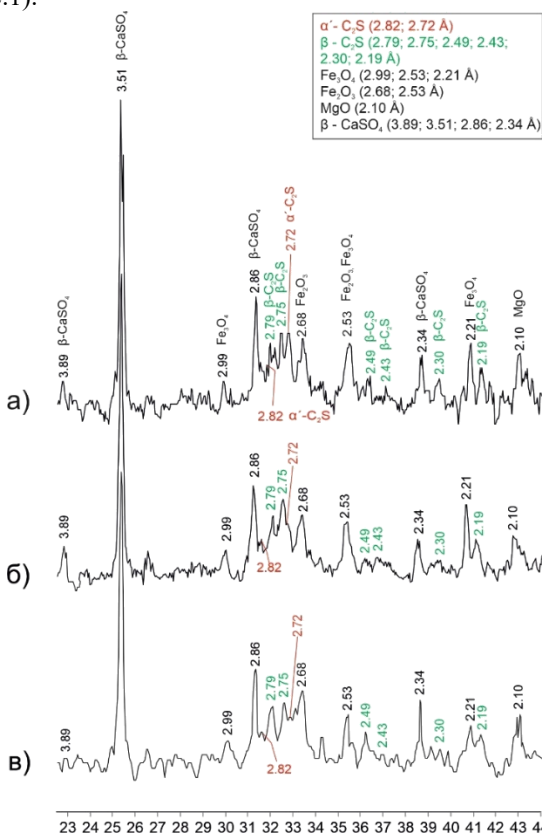


Рис. 1 Фрагменты рентгенограмм стабилизированного шлака: а) 2,7% фосфогипса; б) 2,3% фосфогипса; в) 1,9% фосфогипса

На основании результатов анализа можно сделать вывод, что стабилизация прошла успешно, о чём свидетельствует исчезновение пиков инертной фазы  $\gamma$ - $C_2S$ , и появление отражений гидравлически активных модификаций:  $\beta$ - $C_2S$  и  $\alpha'$ - $C_2S$ . В результате чего на рентгенограмме фиксируются новые дифракционные максимумы:  $\beta$ - $C_2S$  ( $d=2.79$ ;  $2.75$ ;  $2.49$ ;  $2.43$ ;  $2.30$ ;  $2.19$  Å) и  $\alpha'$ - $C_2S$  ( $d=2.82$ ;  $2.72$  Å).

Кроме того, в результате добавления добавки-стабилизатора фосфогипса появляются новые пики, характерные для нерастворимого ангидрида  $\beta$ - $CaSO_4$  ( $d=3.89$ ;  $3.51$ ;  $2.86$ ;  $2.34$  Å), который образуется при дегидратации двуводного гипса.

В связи с успешным завершением процесса стабилизации, следующим этапом работы было изучение гидратационной активности полученного стабилизированного шлака.

Было решено исследовать две партии образцов: исходный нестабилизированный шлак и шлак с добавлением максимального количества добавки-стабилизатора фосфогипса, равного 2,7%.

Прочность образцов шлака, полученного после затворения водой, определяли по методике малых образцов в 7-ми и 28-суточном возрасте твердения на гидравлическом прессе при испытании на сжатие.

Для этого формовали образцы-кубики с размером ребра 1,41 см. Образцы твердели 1 сутки в ванне с гидравлическим затвором над водой, а затем в воде с температурой  $20 \pm 2^\circ C$ .

После расформовки кубики представляли собой хрупкую спрессованную массу, которую было сложно извлечь из формы, не разрушив (Рис.2).

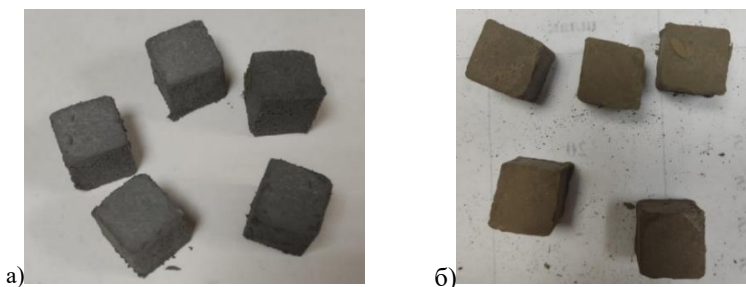


Рис. 2 Образцы шлака сразу после расформовки:  
а) исходный; б) шлак с 2,7% фосфогипса

Провести исследование гидравлических свойств исходного шлака не получилось, так как он рассыпался при транспортировке и не

проявлял никаких признаков гидратации даже в 28-ми суточном возрасте твердения, что оказалось вполне ожидаемым.

Исследовать стабилизированный шлак в возрасте 2-х суток также не представилось возможным, так как все образцы крошились даже при лёгком надавливании. Результаты определения прочности этого шлака в 7 и 28 суток твердения приведены в (Табл. 1).

Таблица 1 – Прочность шлака до и после стабилизации

Шлак	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте, сутки	
	7	28
Исходный	разрушился	
Стабилизированный	4	17,5

Прочность при сжатии стабилизированного шлака в 7 суток составила всего 4 МПа, а к 28 суткам твердения увеличилась до 17,5 МПа. Из этого можно сделать вывод, что в результате стабилизации шлак становится гидравлически активным, и, следовательно, это должно оказать положительное влияние на прочностные свойства цемента, полученного с его использованием.

Для приготовления экспериментальных цементов использовался рядовой клинкер. Были приготовлены рядовой и экспериментальные цементы (с исходным шлаком и с добавкой 1,9; 2,3 и 2,7% фосфогипса) с удельной поверхностью, равной  $300 \pm 20 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

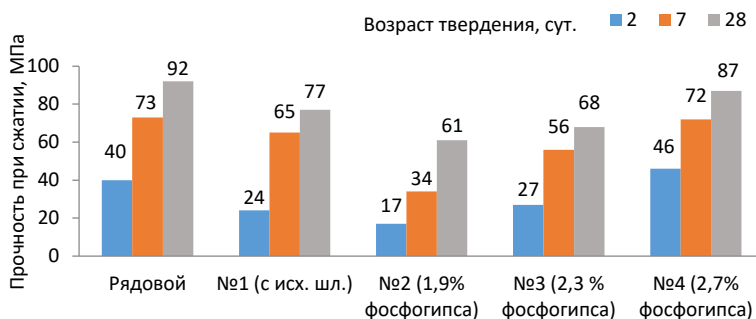


Рис. 3 Зависимость прочности цемента от количества добавки-стабилизатора (фосфогипса) шлака



Прочность при сжатии полученных цементов определялась в малых образцах с размером ребра 1,41 см в тесте состава 1:0 с водоцементным отношением, равным 0,27. Результаты определения прочностных характеристик цементов представлены на (Рис.3).

Полученные результаты показали, что использование оптимального количества фосфогипса в качестве добавки-стабилизатора шлака позволило увеличить прочностные характеристики цемента.

Так, положительный эффект был получен при использовании фосфогипса в количестве, равном 2,7% от массы цемента. Прочностные показатели этого цемента увеличились во все сроки твердения по сравнению с цементом с исходным нестабилизированным шлаком и составили на 28-е сутки 87 МПа, что практически не уступает прочности рядового бездобавочного цемента, равной 92 МПа.

В результате проведенных исследований установлена возможность стабилизации активных фаз белита в сталеплавильном шлаке, при использовании в качестве добавки-стабилизатора – фосфогипса. При дальнейшем применении стабилизированного шлака в качестве активной минеральной добавки в цемент прочность при сжатии получаемого цемента значительно увеличивается и практически не уступает прочности рядового бездобавочного цемента в 28-ми суточном возрасте твердения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесовик В. С. Гранулированные шлаки в производстве композиционных вяжущих / В. С. Лесовик, М. С. Агеева, А. В. Иванов // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. - 2011. - № 3. - С. 29 - 32.
2. Тейлор Х. Химия цемента / Х. Тейлор; Пер. с англ. А. И. Бойковой, Т. В. Кузнецовой. - Москва: Мир, 1996. - 560 с.
3. Дёмин Б.Л. Технические решения по переработке самораспадающихся шлаков // Черная металлургия: Бюллетень научно-технической информации. - 2012. - № 12. - С. 63-70.
4. Пименов А. Т. Модификация составов металлургических шлаков для повышения их гидравлической активности // Современные материалы, техника и технологии - 2018. - № 6(21). - С.106-112.
5. Lopatin, D. V. The new stability criterion of crystal-chemical stabilization of  $\beta$ -C2S. In Advances in metallurgical processes and materials / D. V. Lopatin, V. M. Chizhikova. – Dnepropetrovsk, Ukraine, 2007. – P. 481–482.

6. Ghosh S.N. The chemistry of dicalcium silicate mineral: review // J. Mat. Sci. - 1979. - Vol. 14. Pp. - 1554-1566.

**УДК666.942.6**

**Шпак Д.А.**

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

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА КЛИНКЕРА НА СВОЙСТВА ПОЛУЧАЕМОГО ЦЕМЕНТА**

Интенсификаторы помола – это вещества, способствующие повышению размалываемости материала, а так же к улучшению процесса его измельчения. В то же время количество вводимой добавки должно находиться в пределе 0,02-0,08% от массы материала, так как большее количество может ухудшить строительно-технологические свойства цемента.

Действие интенсификаторов можно объяснить двумя основными механизмами. Первый механизм можно описать так: добавки адсорбируются на материале, тем самым снижают прочность твердых тел, так как уменьшается энергия, необходимая для образования новой поверхности частиц материала (данный процесс был назван эффектом П.А. Ребиндера). А вот второй механизм подразумевает то, что интенсификаторы нейтрализуют некомпенсированные электрические заряды, которые образовались при разрыве химических связей в структуре размалываемого материала. Таким образом, к добавкам, которые способствуют понижению прочности, относят различные ПАВ, а вот к добавкам, которые нейтрализуют заряды, алканоамины и полигликоли.

Целью данной работы являлось изучение эффективности интенсифицирующей добавки на процесс помола цементного порошка путем отслеживания изменения удельной поверхности за промежуток времени. А также влияния интенсификаторов на свойства готового материала, то есть на прочность цементного камня и «текучесть» цементного порошка.

Для выполнения данной работы был использован клинкер, привезенный с предприятия ЗАО «Белгородский цемент». А в качестве добавок использовались данные интенсификаторы: этиленгликоль, триэтанолламин, глицерин, метилдиэтанолламин, диэтиленгликоль.

Последовательность эксперимента: предварительно перед помолом было произведено дробление в щековой дробилке. Поддробленный материал разделили на фракции с размерами частиц от 0,63 до 1,25 мм. Четыре фракции клинкера, каждая массой 23,75 г, и размолотый гипс, с массой 5 г, помещались в мельницу объемом 1 л и массой мелющих тел равной 941 г. При этом в мельницу вводился интенсификатор помола в количестве 0,02 % от массы клинкера. Далее, через каждые 5 минут, проводились замеры удельной поверхности и ситовой анализ ( на ситах 02 и 008) для определения степени измельчения клинкера после помола. Для того, чтобы выявить эффективность вводимых добавок, был произведен контрольный помол без ввода интенсификатора. Результаты исследований представлены в табл.1, 2.

После помола цемента, в конус, который был установлен на встряхивающем столике, засыпался цементный порошок в количестве 100 гр. После этого, подняв цилиндр и встряхнув 4 раза, порошок начинал рассыпаться на горизонтальной поверхности, на которой обозначены концентрические окружности разного диаметра. Для получения более точных результатов для каждого образца проводилось 4 замера, конечный результат был взят, как среднее арифметическое из трех рассчитанных значений. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Затем были приготовлены цементы с добавлением гипса и воды. Из полученного цемента изготавливались образцы-кубики, имеющие площадь грани 1,5×1,5 см.

Таблица 1 –Результат помола без добавок

Время	Остатки на ситах				Удел. пов. S, м <sup>2</sup> /кг
	02	%	008	%	
5	17,5	35	8,8	17,6	128
10	9,6	19,2	5,9	11,8	152
15	5	10	2,4	4,8	190
20	3,6	7,2	1,2	2,4	230
25	-	-	-	-	262
30	-	-	-	-	285
35	-	-	-	-	297

Таблица 2 – Результаты помола клинкера с добавками

<b>Этиленгликоль</b>					
<b>Время</b>	<b>Остатки на ситах</b>				<b>Удел. пов. S, м<sup>2</sup>/кг</b>
	<b>02</b>	<b>%</b>	<b>008</b>	<b>%</b>	
5	14,9	29,8	10,7	21,4	98
10	4,6	9,2	7	14	146
15	1,3	2,6	1,5	3	210
20	-	-	-	-	256
25	-	-	-	-	295
<b>Триэтаноламин</b>					
5	15,3	30,6	9,7	19,4	98
10	5,7	11,4	5,6	11,2	144
15	2	4	1,2	2,4	189
20	-	-	-	-	248
25	-	-	-	-	278
27	-	-	-	-	293
<b>Глицерин</b>					
5	15,7	31,4	11	22	93
10	5,6	11,2	4,8	9,6	139
15	1,6	3,2	2,6	5,2	193
20	-	-	-	-	222
25	-	-	-	-	266
30	-	-	-	-	303
<b>Метилдиэтаноламин</b>					
5	14,8	29,6	11	22	86
10	5,3	10,6	7	14	135
15	1,7	3,4	1,7	3,4	192
20	-	-	-	-	241
25	-	-	-	-	291
<b>Диэтиленгликоль</b>					
5	14,4	28,8	11,5	23	90
10	4,2	8,4	8,1	16,2	142
15	1	2	2,6	5,2	193
20	-	-	-	-	230
25	-	-	-	-	281
30	-	-	-	-	290

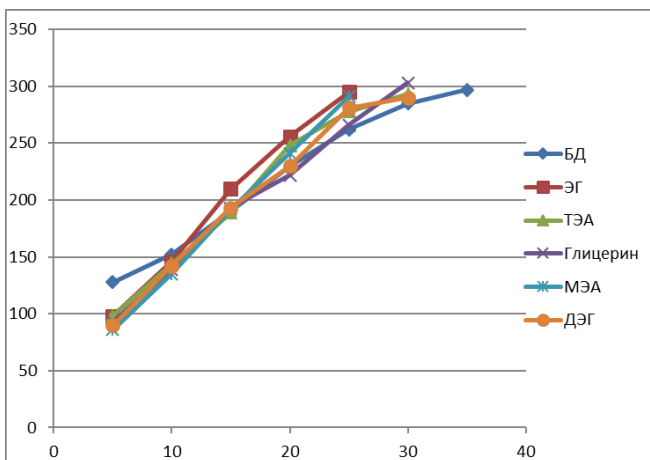


Рис. 1 Зависимость удельной поверхности от времени помола клинкера

Таблица 3 – Значения рассыпаемости порошков

Бездобавочный	ТЭА		ДЭГ		Глицерин		ЭГ		МЭА		
	S, м <sup>2</sup> /кг	Сыпучесть, мм	S, м <sup>2</sup> /кг	Сыпучесть, мм	S, м <sup>2</sup> /кг	Сыпучесть, мм	S, м <sup>2</sup> /кг	Сыпучесть, мм	S, м <sup>2</sup> /кг	Сыпучесть, мм	
297	62	293	60	290	63	303	59	295	64	291	67

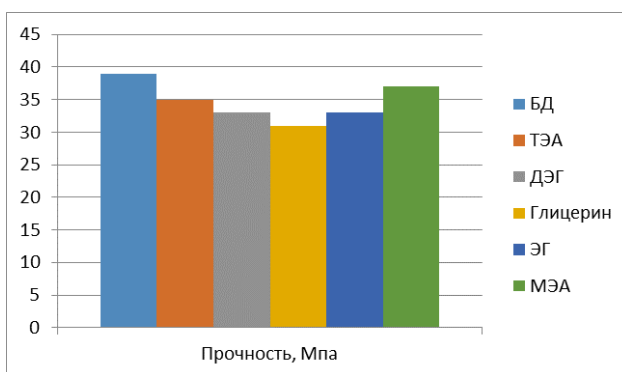


Рис. 2 Влияние интенсификаторов помола, на прочность образцов при сжатии, в возрасте 2 суток, ЗАО «Белгород цемент»

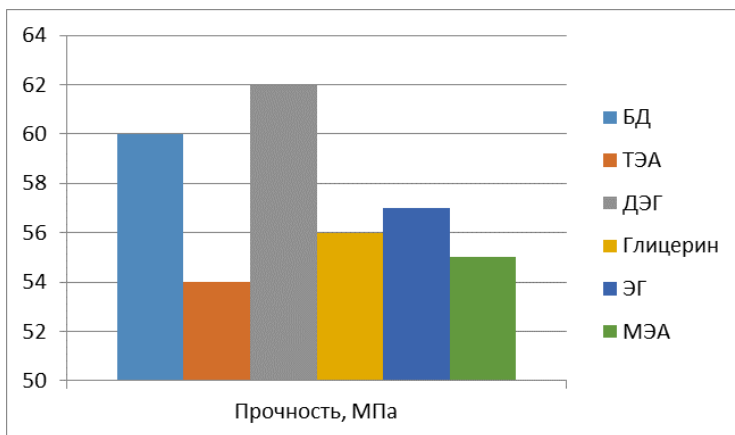


Рис. 3 Влияние интенсификаторов помола, на прочность образцов при сжатии, в возрасте 7 суток, ЗАО «Белгород цемент»

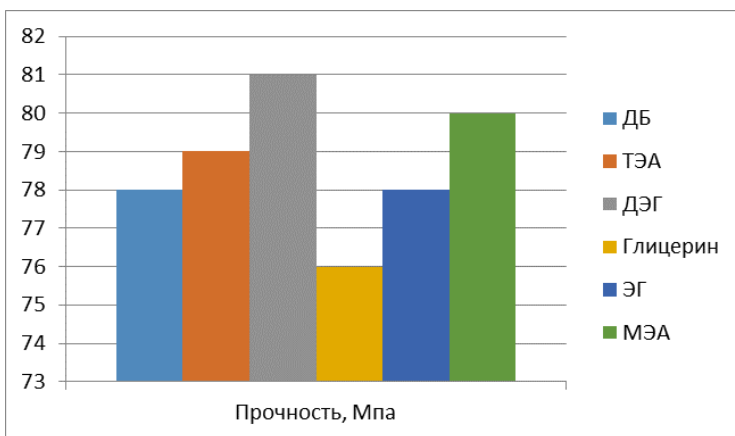


Рис. 4 Влияние интенсификаторов помола, на прочность образцов при сжатии, в возрасте 28 суток, ЗАО «Белгород цемент»

При вводе интенсификаторов время помола клинкера уменьшается.

При добавлении глицерина и диэтиленгликоля, время помола сократилось на 5 минут, в сравнении с бездобавочным клинкером. По итогам исследования глицерин и диэтиленгликоль оказались самыми неэффективными интенсификаторами по сравнению с другими добавками.

При вводе триэтаноламина, время помола сократилось на 8 минут.

Лучшие значения по времени помола показали следующие интенсификаторы: этиленгликоль, метилдиэтанолламин. Они уменьшили время помола на 10 минут. Поэтому для увеличения скорости помола рекомендуется использовать данные добавки.

При вводе интенсификаторов значительных изменений на «текучесть» цементного порошка, по сравнению с контрольным клинкером, выявлено не было.

При вводе данных интенсификаторов значения прочности на сжатии не приводит к снижению прочностных характеристик. После 28 суток у всех образцов значения больше значений марочной прочности, равных 30-60 МПа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. Учебник для вузов / Под редакцией Тимашева В.В. – М.: Высш. школа, 1980. – 472 с.

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

3. Лугинина И.Г. Химия и химическая технология неорганических вяжущих материалов: В 2 ч. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004. – Ч.1. – 240 с.

4. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1972. – 240 с.

*УДК 691.316*

*Шумаков А.А.*

*Научный руководитель: Борисов И.Н., д-р техн. наук, проф.*

*Белгородский государственный технологический университет*

*им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

## МНОГООБРАЗИЕ СВОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИЛИКАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В процессе возведения школ, домов, музеев, филармоний, детских садов и т.д. довольно часто используются силикатные материалы для создания стен, перекрытий, потолков, полов.

Силикатные изделия представляют из себя искусственный материал, приготовленных из смеси СаО (оксида кальция), SiO<sub>2</sub>

(кварцевого песка) и  $H_2O$  (воды), отформованные путем прессования под большим давлением и прошедший автоклавную обработку.

Распространение в строительстве силикатных материалов получили: пенобетон, силикатный бетон, силикатный кирпич, газобетон и пенобетон. В дальнейшем будем вести сравнение между этими материалами, а также сравнение с портландцементом, так как он также является силикатным материалом и его основные составляющие, которые получаются в результате обжига сырьевой смеси это – силикаты кальция, а именно трехкальциевый силикат ( $C_3S$  – алит), двухкальциевые силикат ( $C_2S$  – белит).

Вяжущие строительные материалы представляют собой порошки, которые при взаимодействии постепенно переходят в камневидную массу. Большинство таких материалов производят путём обжига и измельчения горных пород при различном диапазоне температур. При производстве идёт протекание различных физико-химических процессов. Вяжущие вещества лежат в основе современного строительства. Они применяются для кладочных материалов, штукатурных растворов, изготовления бетонных и железобетонных конструкций. [1]

Силикатный кирпич (белый) — кирпич из известково-песчаной смеси, обработанной после формования водяным паром в автоклавах при давлении 0,8 МПа и температуре 175 °С в течение 8—14 часов. По сравнению с керамическим кирпичом, по прочности и морозостойкости силикатный имеет те же характеристики, однако по водостойкости и жаростойкости уступает ему. Силикатный кирпич, наиболее распространенный из современных строительных материалов. [2]

Область применения силикатного кирпича:

- отделка и декор постройки, колонны;
- облицовка фасадов;
- сооружение несущих конструкций;
- кладка печных труб (с температурой в рабочем режиме не более 250 градусов);
- строительство подсобных помещений, гаражей;
- возведение ограждений, заборов.

Силикатный бетон является бетоном без цементного автоклавного твердения, состоит из:  $SiO_2$  (кварцевого песка, по массе около 8-15%),  $CaO$  (негашеной извести, до 10%), данная смесь поддается помолу в шаровых барабанных мельницах, как правило, после помола добавляется ещё кварцевого пека, по технологии, примерно около 75-85% и соответственно затворяется водой. После готовая смесь



поступает в автоклав, где бетон обрабатывается паром под давлением до 1,2 МПа и температурой 170-190 °С. В таких условиях образуются гидросиликаты кальция. [3]

Пенобетон – это бетон, только имеющий пористую структуру, как правило именно закрытые поры. Закрытые поры благоприятно влияют на морозостойкости материалов, среднюю плотность, прочность, водонасыщаемость, теплопроводность, морозостойкость, звукопоглощаемость и т.д.

На сегодняшний день существуют 3 метода производства пенобетона:

- 1) Классический;
- 2) Сухая минерализация;
- 3) Баротехнология.

В основе всех этих методов лежит основной, классический. Суть его заключается в том, что готовят цементное тесто, добавляют пену из пеногенератора и смешивают, тем самым получая устойчивую пенобетонную смесь с малым количеством воды, образуется гладкая поверхность за счет высокой насыщенности поверхностно активных веществ, так как дисперсионной средой будет являться – воздушная пора пенобетона. В течение некоторого времени смесь начинает твердеть тем самым образуя пенобетон. [3]

Газобетон – это бетон или разновидность пористого бетона, другими словами можно назвать как искусственный камень с равномерно распределенными по всему объему замкнутыми порами, при этом они являются сообщающимися друг с другом, и имеют сферическую форму в диаметре от 1 до 3 мм. В производстве газобетона участвуют: цемент,  $\text{SiO}_2$  (кварцевый песок),  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  (гипс),  $\text{CaO}$  (известь), а также отходы металлургической промышленности золы и шлаки. С учётом, что весь процесс проходит при специализированном газообразователе (смесь мелкодисперсного металлического алюминия и воды), такая смесь в результате реакции с сильнощелочным цементным раствором, а вполне и с известковым (известь, гипс могут повлиять) образовывается газообразный водород, который в свою очередь вспенивает весь раствор и получаются поры, необходимо уточнить, что весь процесс происходит в специальных формах. Через некоторое время, после схватывания цементного раствора, его извлекают из формы и подвергают обработке водяным паром в автоклаве, с дальнейшей сушкой, где он приобретает окончательную прочность. [4]

Газобетон применяется в жилищном, коммерческом и промышленном строительстве. Основной объем потребления занимают

строительные (стенные и перегородочные блоки), также применяются армированные изделия (перемычки и плиты перекрытия).

На данный момент широкое распространение получил такой материал, как пеностекло, выпускают в форме блоков, плит, щебня, а также гранул. Это теплоизоляционный материал, представляющий собой вспененную стекломассу. Для изготовления пеностекла используется способность силикатных стёкол размягчаться и (в случае наличия газообразователя) пениться при температурах около 1000°С. По мере нарастания вязкости при охлаждении вспененной стекломассы до комнатной температуры получившаяся пена приобретает существенную механическую прочность. [4]

В качестве сырья для производства пеностекла применяют такие горные породы, как трахит, сиенит, нефелин, обсидиан, вулканический туф, а также отходы обычного стекла, то есть, стеклобой, образующийся в процессе производства листового, тарного, электротехнического стекла, хрустальных изделий.

Для наглядного представления всех сказанных свойствах силикатных материалов, данные были преобразованы в (Таблица 1):

Таблица 1 [5]

Наименование/ показатели	Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Водопоглощение, %	Теплопроводность, Вт/м <sup>2</sup> °С	Морозостойкость, циклов	Себестоимость, руб/1 м <sup>2</sup>	Звукоизоляция, Дб
Силикатный бетон (М-150)	350-360	12-30	0,6	50	62-90	52
Силикатный кирпич (М-125)	130-145	8,3	0,7	35-50	17-90	50
Пенобетон (D-150)	100-130	14	0,3	35	49-68	30
Газобетон (М-150)	200-250	20	0,3	35	60-94	29
Пеностекло (М-160)	70-500	3	0,06	50	4300-5500	45-56
Портландцемент (В 12,5; М-150)	145-155	8-10%	1,2	25	1-5	15

Из (Таблица 1) можно выделить следующие позиции: прочность при сжатии достаточно большую имеет пеностекло, говорит о том, что возможное применение в несущих конструкциях или в качестве плит перекрытий, за счёт низкого коэффициента теплопроводности, также имеет хорошую звукоизоляцию, но по сравнению с остальными материалами обладает высокой ценой за 1 м<sup>2</sup>. Силикатный бетон на ряду с силикатным кирпичом по праву занимают лидирующие позиции в данном списке, за счёт не плохой плотности при сжатии, большой цикличности морозостойкости, отличной звукоизоляции и сравнительно маленькой себестоимостью, по сравнению, например, с пеностеклом. Именно по этим причинам часто используемым материалом в строительстве является силикатный кирпич, а также силикатный бетон.

Сравнивая строительно-технические свойства рассмотренных силикатных материалов, очевидно предположить, что широкое многообразие свойств, гибкость технологий и форм позволяет использовать силикатные материалы для большого объёма строительных работ зданий и сооружений любых конструкций и назначений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нечаева П.М. Проблемы технологических комплексов, строительных материалов и индустрии в России XXI века // «Международный молодёжный форум “Образование. Наука. Производство”». Сборник докладов. Белгород, 2020, С. 1100 – 1104.
2. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича/ учебное пособие. Л.М. Хавкин, Москва: изд-во Стройиздат, 1982 – 384с.
3. Воронцов В.М. Вяжущие материалы и изделия на их основе/ учебник. В.М. Воронцов, В.И. Мосьпан, Л.А. Сулейманова, Белгород: изд-во БГТУ, 2010 – 180с.
4. Сумской Д.А. Модифицированные вяжущие для теплоизоляционных растворов/ учебное пособие. Д.А. Сумской, Л.Х. Загороднюк, Белгород: изд-во БГТУ, 2019 – 144с.
5. Косухин М.М. Материалы для усиления, восстановления и реконструкции зданий и сооружений/ лабораторный практикум, учебное пособие. М.М. Косухин, Белгород: изд-во БГТУ, 2016 – 298с.

*УДК 666.94*

*Шумаков А.А.*

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

## СУШКА И СУШИЛЬНЫЕ АГРЕГАТЫ В ЦЕМЕНТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Сушка – удаление влаги из твердых влажных, пастообразных или жидких материалов (суспензий) путем ее испарения и отвода образовавшихся паров.

Процесс сушки является одной из наиболее распространенных операций в производстве строительных материалов.

Удаление влаги из твердых и пастообразных материалов позволяет удешевить их транспортировку, придать им необходимые свойства, а также уменьшить коррозию аппаратов и трубопроводов при хранении

или последующей обработке материалов.

Для интенсификации сушки за счёт увеличения коэффициента и движущей силы массопередачи при возрастании температуры или, по крайней мере, поддержании её постоянной высушиваемому материалу, необходимо сообщать определенное количество теплоты. Таким образом, процесс сушки является сочетанием связанных друг с другом процессов теплообмена и массообмена. Благодаря интенсивному тепло/массообмену процесс идет особенно эффективно и быстро.

По способу подвода тепла к высушиваемому материалу различают следующие виды сушки:

1) конвективная сушка – путём непосредственного соприкосновения высушиваемого материала с воздухом или топочными газами.

2) контактная сушка – путём передачи тепла от теплоносителя к материалу через разделяющую их стенку;

3) радиационная сушка – путём передачи тепла излучением;

4) диэлектрическая сушка – путём нагревания материала-диэлектрика в переменном электрическом поле высокой частоты;

5) сублимационная сушка – применяется в том случае, если влага из замороженного материала переходит в парообразное состояние, минуя жидкое (сублимирует), при этом процесс осуществляется в вакууме. [1]

Теоретически в отдельный вид выносят сушку в псевдооживленном слое. Псевдооживленный слой получил свое название благодаря формальному сходству его свойств со свойствами капельной жидкости. В состоянии псевдооживления частицы твердого материала интенсивно перемешиваются в слое, в результате чего увеличивается площадь поверхности контакта фаз, а температуры и концентрации во всем объеме выравниваются. Скорость процессов при этом резко возрастает. Таким образом, использование кипящего слоя для сушки материалов позволяет добиться ее равномерности при высокой интенсивности процесса.

В псевдооживленном состоянии слой разрыхляется и интенсивно перемешивается; благодаря этому все частицы материала омываются сушильным агентом. Вследствие интенсивного перемешивания и контакта отдельных частиц происходит выравнивание температуры в объеме слоя. [2]

Перенос тепла в аппарате кипящего слоя обусловлен не только интенсивным движением частиц и перемешиванием слоя, но и высокой теплоаккумулирующей способностью твердой фазы по сравнению с газовой; благодаря этому в таком аппарате можно легче регулировать температуру материала. Еще в большей мере на нагрев материала влияет большая теплопроводность кипящего слоя по сравнению с

теплопроводностью плотного слоя.

В сушилке с кипящим слоем может быть совмещена сушка с транспортировкой материала подобно тому, как это имеет место в пневмосушилке, причем расход энергии на перемещение материала в кипящем слое значительно меньше, чем при пневмотранспорте. Принцип кипящего слоя позволяет значительно упростить и интенсифицировать процесс сушки при значительном сокращении габаритов сушильного аппарата по сравнению, например, с ленточными сушилками, аппаратами шахтного типа и др. [3]

На цементных предприятиях сушку материала производят в сушильных барабанах, используются вихревые сушилки с кипящим слоем, дробилки-сушилки, в которых совмещены стадии сушки и вторичного дробления, используют комбинацию из молотковой сушилки-дробилки с шаровой мельницей.

Сушильные барабаны применяют для сушки сырьевых материалов, добавок и топлива независимо от их начальной влажности и пластичности, что является преимуществом, так как в аппаратах других конструкций сушить пластичные материалы при высокой влажности трудно, а иногда и невозможно. Недостаток сушильных барабанов – большая затрата тепла на испарение влаги материала с влажностью менее 10%. Поэтому сушильные барабаны целесообразно применять для подсушки материалов, а затем досушивать их более эффективным способом, например, совмещая сушку с помолом в мельнице.

Вихревые сушилки предназначены для сушки различных цементных сырьевых материалов. В отечественной цементной промышленности они применяются, в основном, для сушки гранулированного доменного шлака. Сушка материалов в такой сушилке происходит во взвешенном состоянии.

Сравнение технических характеристик сушильных агрегатов: вихревой сушилки, барабанной и сушилки-дробилки представлены в таблице 1.

Таблица 1 [4]

Наименование/ показатели	Размер, м	Производи- тельность, т/ч	Съем влаги, %	Удельный расход топлива, кг/т	Тепловой КПД, %
Вихревая сушилка	12×4×6	29,5	10-15	20	60
Барабанная сушилка	12×5×6	4-5	4-5	26	60-80
Сушилка - дробилка	12×4×7	100	10-12	14	65-75

Исходя из данных (Таблица 1) можно сделать вывод, что барабанные сушилки привлекают высоким КПД, поэтому применяются на большинстве предприятий и не только цементного производства. Недостатком их является высокий удельный расход топлива. Внедрение вихревых сушилок или сушилок-дробилок позволит существенно сократить расход топлива на сушку материала, но эти конструкции сложны в использовании и обслуживании и имеют высокую стоимость.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии/ Учебник для вузов. А.Г. Касаткин, Москва: изд-во «Альянс», 2004 – 753с.

2. Разинов А.И. Процессы и аппараты химической технологии/ учебное пособие. А.И. Разинов, А.В. Клинов, Г.С. Дьяконов, Казань: изд-во КНИТУ, 2017 – 860с.

3. Гавшин А.П., Кулаков Л.С., Вечканова М.В., Тюфанова Ю.В., Шеховцова Ю.А. Сушка материала в псевдооживленном слое // «Международная научно-техническая конференция молодых учёных БГТУ им. В.Г. Шухова». Сборник докладов. Белгород, 2018, С. 1012 – 1016.

4. Севастьянов В.С. Ресурсо-энергосберегающее оборудование и комплексы для переработки природных и техногенных материалов/ монография. В.С. Севастьянов, В.И. Уральский, М.В. Севастьянов, Белгород: изд-во БГТУ, 2017 – 315с.