

НАО «Карагандинский технический университет
Имени Абылкаса Сагинова»

УДК 691.421.24

На правах рукописи

ВЫШАРЬ ОЛЬГА ВИКТОРОВНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ
СТРУКТУРЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СВОЙСТВ
КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД
УГЛЕДОБЫЧИ**

8D07302 – «Производство строительных материалов,
изделий и конструкций»

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты:

Кандидат технических наук, доцент
Рахимова Галия Мухамедиевна

Доктор технических наук, профессор
Столбошкин Андрей Юрьевич

Республика Казахстан
Караганда 2024

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| СОДЕРЖАНИЕ | 2 |
| НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ | 4 |
| ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ | 6 |
| ВВЕДЕНИЕ | 7 |
| 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПО ТЕМАТИКЕ ИССЛЕДОВАНИЙ | 15 |
| 1.1 Реологические свойства формовочных масс и их влияние на качество керамических изделий..... | 16 |
| 1.2 Регулирование реологических свойств керамических масс технологическими методами и введением добавок..... | 20 |
| 1.3 Структурно-механические характеристики керамических масс и способы их регулирования..... | 23 |
| 1.4 Сушка керамических изделий и процессы формирования конденсационной структуры | 24 |
| 1.5 Процессы структурообразования при обжиге и их влияние на качество керамических изделий..... | 28 |
| Выводы..... | 30 |
| 2 ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ | 32 |
| 2.1 Обоснование выбора объекта исследования..... | 32 |
| 2.2 Характеристика сырьевых материалов..... | 34 |
| 2.3 Исследование изменения состава и свойств вскрышных пород от литологического типа и горизонта залегания | 41 |
| 2.4 Характеристика применяемых добавок..... | 47 |
| 2.5 Методы исследований сырьевых материалов | 50 |
| 2.6 Результаты исследования состава и свойств отходов угледобычи | 52 |
| Выводы..... | 52 |
| 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ КОАГУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ МАСС ИЗ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД УГЛЕДОБЫЧИ ПРИ ФОРМОВАНИИ | 54 |
| 3.1 Влияние степени измельчения вскрышных пород на их технологические свойства..... | 54 |
| 3.2 Исследование зависимости изменения коагуляционной структуры масс из вскрышных пород от их фракционного состава..... | 57 |
| 3.3 Исследование структурно-механических свойств масс из вскрышных пород с добавками | 71 |
| Выводы..... | 75 |
| 4 ФОРМИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ СУШКЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА | 77 |
| 4.1 Исследование сушильных свойств образцов на основе вскрышных пород угледобычи..... | 77 |

| | |
|--|------------|
| 4.2 Регулирование сушильных свойств изделий из вскрышных пород угледобычи..... | 79 |
| Выводы..... | 82 |
| 5 ФОРМИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ОБЖИГЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА | 83 |
| 5.1 Исследование обжиговых свойств образцов из вскрышных пород угледобычи | 83 |
| 5.2 Регулирование обжиговых свойств изделий из отходов угледобычи..... | 85 |
| 5.3 Исследование физико-механических и эксплуатационных свойств керамических изделий из вскрышных пород угледобычи | 94 |
| 5.4 Влияние добавок на показатели качества керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи при пластическом формовании..... | 97 |
| 5.5 Исследование свойств керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи при жестком способе формования..... | 98 |
| 5.6 Исследование составов гранулированных шихт керамических изделий матричной структуры полусухим способом формования | 100 |
| Выводы..... | 103 |
| 6. ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ, ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ..... | 105 |
| 6.1 Отработка технологических параметров производства керамического кирпича из вскрышных пород | 107 |
| 6.2 Опытно-промышленные испытания по выпуску керамического кирпича с использованием добавок пластическим способом формования..... | 107 |
| 6.3 Технико-экономическая эффективность технологии производства керамического кирпича на основе вскрышных пород угледобычи пластическим способом формования..... | 108 |
| Общие выводы | 115 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 119 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 120 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А - Патент на полезную модель «Сырьевая смесь для производства строительных керамических изделий» | 130 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б - Акты внедрения в учебный и производственный процесс..... | 135 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В - Протокол испытаний керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи ЭУБ..... | 141 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Г - Технологический регламент производства керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи ЭУБ..... | 142 |

Нормативные ссылки

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 21216-2014 «Глинистое сырье. Методы испытаний»

ГОСТ 9169-2021 «Сырье глинистое для керамической промышленности»

ГОСТ 11014-2001 «Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренные методы определения влаги»

ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов»

ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия»

ГОСТ 7025-91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости»

ГОСТ 8462-85 «Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе»

ГОСТ 473.1-81 «Изделия химически стойкие и термостойкие керамические. Метод определения кислотостойкости»

ГОСТ 26254-84 «Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций»

ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные. Методы испытания на горючесть»

ГОСТ 2409-95 (ИСО 5017-88) «Огнеупоры. Метод определения кажущейся плотности, открытой и общей пористости, водопоглощения»

ГОСТ 32047-2012 «Кладка каменная. Метод испытания на сжатие»

EN 771-1:2003 Definitions concerning wall stones - Part 1: Brick (Определения, касающиеся стеновых камней. Часть 1: Кирпич) в части требований к средней плотности, пустотности, теплотехническим свойствам, скорости начальной абсорбции воды, кислотостойкости

EN 772-1:2000 Methods of test for masonry units - Part 1: Determination of compressive strength (Методы испытаний строительных блоков. Часть 1. Определение прочности при сжатии)

EN 772-9:1998 Methods of test for masonry units - Part 9: Determination of volume and percentage of voids and net volume of clay and calcium silicate masonry units by sand filling (Методы испытаний строительных блоков. Часть 9. Определение объема и процентной доли пустот, объема нетто керамического кирпича и силикатных блоков посредством заполнения песком)

EN 772-11:2000 Methods of test for masonry units - Part 11: Determination of water absorption of aggregate concrete, autoclaved aerated concrete, manufactured stone and natural stone masonry units due to capillary action and the initial rate of water absorption of clay masonry units (Методы испытаний строительных блоков. Часть 11. Определение капиллярного водопоглощения строительных блоков из

бетона, автоклавного ячеистого бетона, искусственного и природного камня, начального водопоглощения керамического кирпича) в части метода определения скорости начальной абсорбции воды.

Послание Главы государства Республики Казахстан К.К.Токаева народу Казахстана от 01 сентября 2020 года "Казахстан в новой реальности: время действий"

Послание Главы государства Республики Казахстан К.К.Токаева народу Казахстана от 1 сентября 2023 года «Экономический курс Справедливого Казахстана»

Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724 «Об утверждении Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года»

«Национальный план развития Республики Казахстан до 2025 года» от 9 марта 2021 г.

«Государственная программа инфраструктурного развития «Нұрлы жол» на 2020 - 2025 годы» от 30 декабря 2022 года №1116.

Об утверждении Национального плана развития Республики Казахстан до 2025 года» от 26 февраля 2021 г. № 521

«Об утверждении Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020 – 2025 (в части опережающего развития обрабатывающей промышленности)» от 20 июля 2022 г. № 508

Программа развития территории Павлодарской области на 2021-2025 годы, утвержденная Решением Павлодарского Областного Маслихата, I сессия, VII созыва от 15 января 2021 года № 6/1-VII

Государственная программа развития малого и среднего бизнеса. Законом "Об энергосбережении и повышении эффективности» от 13 января 2012года № 541-IV

Проект Правительства Республики Казахстан "Энергоэффективное проектирование и строительство объектов с поддержкой программы развития ООН и Глобального Экологического фонда

Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724 «Об утверждении Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года».

Обозначения и сокращения

В настоящей диссертации применяются следующие обозначения и сокращения:

ТЭК – топливно-энергетический комплекс

НИИСТРОМ - научно-исследовательский институт строительных материалов

ВВП – валовой внутренний продукт

ЦОФ – центральная обогатительная фабрика

ДТА – дифференциально-термический анализ

РФА – рентгенофазовый анализ

ИК спектроскопия – инфракрасная спектроскопия

ОФВ – оптимальная формовочная влажность

СДБ – сульфитно-дрожжевая бражка, (поверхностно-активное вещество)

ССБ – сульфитно-спиртовая барда, (поверхностно-активное вещество)

гран. состав – гранулометрический состав

хим. анализ – химический анализ

R_m – пластическая прочность

ρ – плотность

K_q – коэффициент чувствительности

$R_{сж}$ – предел прочности при сжатии

Π – пластичность глины

$W_{1,2}$ – влажность

масс. % - массовые проценты

Введение

В Послании Президента Касым-Жомарта Кемелевича Токаева «Казахстан в новой реальности: время действий» от 01 сентября 2020 года отмечалось, что благодаря государственной политике в развитии экономики Республики Казахстан, создан серьезный авторитет в мире. «Новый экономический курс нашей страны должен базироваться на семи основных принципах, одним из которых является «Озеленение» экономики, охрана окружающей среды. При этом мы должны исходить из наших конкурентных преимуществ и реальных возможностей. Важнейшей задачей, стоящей перед Казахстаном, является полное раскрытие своего промышленного потенциала. Несмотря на успехи в этой сфере, реализовать весь потенциал внутреннего рынка нам пока не удалось. Около двух третей обработанных товаров завозится из-за рубежа. Для обеспечения стратегической самодостаточности национальной экономики предстоит в срочном порядке приступить к развитию новых переделов в черной и цветной металлургии, нефтехимии, автомобиле- и машиностроении, производстве стройматериалов, продуктов питания и других секторах» [1].

Также в послании Президента Касым-Жомарта Кемелевича Токаева от 1 сентября 2023 года «Экономический курс Справедливого Казахстана» было отмечено: «Государство совместно с крупными предприятиями должно «замкнуть» производственный цикл в стране. Для этого потребуются применить как регулирующие, так и стимулирующие механизмы. Обрабатывающая промышленность должна получать сырье в достаточном объеме и по адекватным ценам» [2].

В условиях современного строительства актуальными являются высокотехнологичные строительные материалы с усовершенствованными свойствами, которые отвечают современным требованиям и обладают улучшенными экологическими, эстетическими, эксплуатационными показателями. [3-8].

Стеновые керамические материалы являются одним из наиболее популярных видов строительных материалов, так как обладают высокой прочностью, стойкостью и долговечностью, что является наиболее востребованными свойствами материалов при кладке стен и архитектурных элементов. Применение керамических стеновых материалов дает возможность проектировщикам, архитекторам и дизайнерам, реализовывать многообразие различных фактур, форм и расцветок в своих проектах, благодаря чему керамические материалы остаются популярными, на протяжении многих лет и не перестают быть актуальными до сих пор.

Одним из важнейших вопросов в процессе планирования сырьевых составов современных строительных материалов, в том числе и керамических, является инновационность, экономичность и экологичность разрабатываемых технологий, которые позволят получить качественную продукцию, в том числе, с использованием техногенных отходов промышленности.

Производство керамического кирпича является актуальным на сегодняшний день для Павлодарской области в частности и для Республики Казахстан в целом. Сфера применения керамического кирпича обширна, а строительство объектов, с его использованием, ежегодно возрастает. Вследствие чего наблюдается дефицит, который существенно сдерживает темпы строительства. В то же время, большие объемы керамических строительных материалов и изделий (керамический и огнеупорный кирпич, керамическая плитка, санфаянс) завозятся из-за границы [9].

Вместе с тем, в Павлодарской области имеются значительные объемы отходов, содержащих отходы промышленной индустрии, в частности, в Екибастузском угольном бассейне, где на 1 тонну добываемого угля приходится около 4 тонн вскрышных пород, которые могут получить «вторую жизнь» и быть использованы в производстве керамических строительных материалов. Это позволит значительно расширить номенклатурный ряд керамических строительных материалов, снизить себестоимость сырья и стоимость самой продукции, улучшить экологию в области за счет уменьшения отходов [10].

Ранее проведенными исследованиями установлено, что производство керамического кирпича с применением вскрышных пород Екибастузского угольного бассейна в качестве нового вида органоминерального сырья, возможно [11-14].

Актуальность. В настоящее время недостаточно используются вскрышные породы угледобычи, в связи со слабой изученностью их состава и технологических свойств. Нет технологий использования вскрышных пород, как основного сырья для производства строительной керамики. В современном производстве вскрышные породы угледобычи используются в виде выгорающих и отощающих добавок в производстве керамического кирпича.

Получение строительной керамики связано с образованием трех типов структур: коагуляционной, конденсатно-кристаллизационной и кристаллизационной при формовании, сушке и обжиге. Исследования по изучению различных типов структур, образующихся при производстве строительной керамики, проведены в большей степени для глин.

Недостаточно изучены процессы формирования структуры изделий при формовании, сушке и обжиге керамики на основе вскрышных пород угледобычи, поэтому проведение исследований в этой области является очень актуальным. Поэтому поиск доступных добавок и оптимальной рецептуры сырьевой смеси с минимальной чувствительностью к условиям формования, сушки и обжига является актуальной и сложной научно-технической задачей.

Таким образом, разработка новых составов и технологий, изучение процессов формирования структуры керамических изделий на основе вскрышных пород является одной из важнейших научных и практических задач в повышении конкурентоспособности технологических процессов производства в Казахстане и на международной арене.

Данная диссертационная работа посвящена изучению состава и свойств вскрышных пород угледобычи в зависимости от литологических типов и горизонтов залегания, влиянию степени помола и добавок на реологические процессы протекающие в структуре массы, с целью исключения дефектов при формировании и получении керамических изделий с заданными эксплуатационными свойствами. Разработаны технологические параметры формирования конденсационной и кристаллизационной структуры при сушке и обжиге керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи.

На базе проведенных исследований разработан технологический регламент производства керамического кирпича на основе вскрышных пород угледобычи.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с Государственной программой развития малого и среднего бизнеса, Правительственной Государственной программой по индустриально-инновационному развитию РК (ГПИ-ИР-2) на 2020-2025 гг. На основе Постановления Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724 «Об утверждении Концепции развития топливно-энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года» и программы развития территории Павлодарской области на 2021-2025 годы, утвержденной Решением Павлодарского Областного Маслихата, I сессия, VII созыва от 15 января 2021 года № 6/1-VII

Целью диссертационной работы является разработка и обоснование научных принципов и технологических параметров производства керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Задачи исследования:

- изучить вещественный состав, физико-механические, химические, минералогические и другие свойства вскрышных пород различных литологических типов и горизонтов залегания;
- выявить влияние характеристик формовочных масс из вскрышных пород на качественные показатели керамического кирпича;
- определить оптимальные составы шихты и технологические параметры получения стеновых керамических изделий матричной структуры на основе вскрышных пород угледобычи с требуемыми свойствами;
- выявить влияние органических и химических добавок на процессы формирования структур керамических масс при формировании, сушке и обжиге керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи;
- установить влияние сушильных свойств на процессы формирования конденсационной структуры керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи;
- разработать технологические параметры и режимы обжига, обеспечивающие направленное протекание процессов формирования оптимальной кри-

сталлизионной структуры керамических изделий из вскрышных пород угледобычи;

- исследовать основные физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики готовых изделий;

- провести опытно-промышленную апробацию результатов научных исследований и дать оценку технико-экономической эффективности использования вскрышных пород угледобычи в производстве керамического кирпича.

Методы достижения поставленных задач:

Изучение отечественного и мирового опыта, направленного на исследование возможностей получения керамических изделий из вскрышных пород угледобычи, подтвержденный патентами, авторскими свидетельствами на изобретения.

Использование электронно-микроскопических и химических исследований, методов дифференциально-термического анализа, ИК-спектрометрии, рентгено-фазовых и др.

Все испытания проводились в соответствии с государственными стандартами и другими нормативными документами РК. Испытания проводились в аккредитованных лабораториях.

Научные результаты (научные положения), выносимые на защиту диссертации:

- зависимость изменения химического, минералогического-минералогического состава и физико-механических свойств и вскрышных пород от их литологических типов и горизонтов залегания, позволяющая использовать отходы угледобычи в качестве основного сырья для производства керамического кирпича;

- структурно-механические характеристики масс на основе вскрышных пород с добавками углистых сланцев, отхода химического производства-оксихлорида алюминия и Калкаманской глины, обеспечивающие повышение прочности и морозостойкости керамических изделий;

- требования к керамическим массам на основе вскрышных пород угледобычи и глинистого сырья оптимального гранулометрического состава, обеспечивающие плотную упаковку и бездефектное формование изделий с матричной структурой;

- результаты исследований процессов трансформации сырца, состоящего из гранул на основе вскрышных пород угледобычи, покрытых глиняной оболочкой, в керамический матричный композит после обжига, имеющий переходный слой на границе контакта ядро-матрица;

- разработанная технологическая схема производства стеновых керамического кирпича на основе вскрышных пород угледобычи методами пластической экструзии многокомпонентных шихт.

Научная новизна диссертации:

Теоретически обоснована и экспериментально доказана возможность применения вскрышных пород угледобычи в качестве основного сырья для производства керамического кирпича.

1. Обоснована зависимость изменения физико-механических свойств, химического и минералогического состава вскрышных пород от их литологических типов и горизонтов залегания.

2. Установлены особенности изменения структурно-механических характеристик масс из вскрышных пород угледобычи при введении в их состав в качестве добавок углистых сланцев, оксихлорида алюминия и Калкаманской глины, выраженные в снижении пластической вязкости, уменьшении жесткости и улучшении формовочной способности масс, что обеспечивает увеличение прочности при сжатии до 47,5-54,2 МПа водопоглощение от 9,1 до 7,2 %, морозостойкость до 100 циклов.

3. С использованием математических методов планирования экспериментов установлены оптимальные гранулометрические составы масс на основе вскрышных пород обеспечивающие плотную упаковку, бездефектное формование, сушку и обжиг керамических изделий.

4. Представлен алгоритм формирования структуры (коагуляционной, конденсационной и кристаллизационной) при формовании, сушке и обжиге керамических композитов оптимальных составов на основе вскрышных пород.

5. Выявлены закономерности получения керамических изделий из вскрышных пород методами пластической экструзии и полусухого прессования. Особенности формирования матричной структуры при использовании отходов угледобычи.

6. Разработаны режимы термической обработки, обеспечивающие получение керамических изделий с заданными свойствами.

Новизна и значимость исследования заключается в том, что проведено комплексное изучение вскрышных пород угледобычи как основного, экологически безопасного сырья для получения композитных керамических изделий. Подобраны оптимальные гранулометрические составы в которых используются добавки-модификаторы для корректировки технологических свойств и улучшения качества готовых изделий.

Практическая значимость.

Разработаны ресурсосберегающие составы и энергоэффективная технология производства композитной строительной керамики на основе вскрышных пород угледобычи и добавок. Исследования представляют практическую ценность для предприятий угольной промышленности, производящих вскрышные породы в виде отходов производства. Они могут существенно снизить затраты на транспортировку, хранение отходов, уменьшить природоохранные платежи. Для керамической промышленности позволят снизить себестоимость выпускаемой продукции и восполнить

недостаток кондиционного глинистого сырья при производстве керамических изделий, улучшить экологическую обстановку.

В результате диссертационной работы:

1. Проведена оценка вскрышные породы угледобычи как ресурсосберегающего, энергоэффективного сырья для производства керамического кирпича.

2. Разработаны составы керамической шихты, включающие вскрышные породы угледобычи, углистые породы, оксихлорид алюминия, пластичную глину для получения керамического кирпича методом пластического, жесткого и полусухого формования.

3. Установлены особенности формирования коагуляционной, конденсационной и кристаллизационной структур при формовании, сушке и обжиге керамических изделий.

4. Разработан и утвержден технологический регламент производства керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи, на основании которого проведены полужаводские испытания.

5. Проведена оценка технико-экономической эффективности от применения вскрышной породы угледобычи при производстве керамического кирпича.

Предлагаемые решения подтверждены патентом Республики Казахстан № 9175 «Сырьевая смесь для производства строительных керамических изделий».

Результаты исследований внедрены в учебный процесс Торайгыров университета по дисциплине «Ресурс- и энергосберегающие технологии производства строительных материалов».

Опыт внедрения результатов работы в производство.

Результаты лабораторных исследований подтверждены опытно-промышленными испытаниями в условиях кирпичного завода ТОО «Yer-Min-Brick» г. Ерейментау, Акмолинская область. Разработанная технология принята к внедрению ТОО «Yer-Min-Brick» г. Ерейментау, Акмолинская область Республика Казахстан.

Обоснованность и достоверность научных положений, заключений и рекомендаций.

Лабораторные исследования проводились в лабораториях кафедры «Строительные материалы и технологии» КарТУ имени Абылкаса Сагинова, кафедры «Инженерные конструкции, строительные технологии и материалы», аккредитованных центрах испытаний Сибирского Государственного Индустриального Университета (г. Новокузнецк), факультета архитектуры и строительства Торайгыров университета (г. Павлодар).

Выпущенный в заводских условиях керамический кирпич испытан в лаборатории по испытанию строительной и промышленной продукции испытательного центра Павлодарского филиала АО «Национальный центр экспертизы и сертификации».

Результаты работы не противоречат научным выводам и положениям, установленным ведущими учеными в области керамических технологий, что свидетельствует об их обоснованности и достоверности.

Личный вклад автора:

Разработка научных и технологических принципов получения керамических изделий из вскрышных пород угледобычи. Результаты всех лабораторных исследований и испытаний получены автором лично или при его непосредственном участии. Проведена апробация разработанной технологии в условиях промышленного производства. В опубликованных статьях в соавторстве, автору принадлежат результаты экспериментальных исследований, анализ, подготовка, оформление, отправка и сопровождение материалов.

Апробация работы.

Основные результаты диссертации доложены на 7-ми конференциях:

1. Отходы угольной промышленности в производстве облицовочной керамики. Материалы IV Международной научно-практической конференции «Качество. Технологии. Инновации». – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2021. с. 179-184;

2. Analysis of energy efficiency of building envelopes of JSC "Station EGRES-2". AIP Conference Proceedings 2559, 050006, 2022. Scopus.

3. Экологические аспекты использования вскрышных пород угледобычи в производстве строительной керамики. Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России: труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Сиб. гос. индустр. ун-т; Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2022. – с. 212-216.

4. Регулирование сушильных свойств керамических масс на основе вскрышных пород угледобычи. Материалы XV Междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные вопросы архитектуры и строительства».- Новосибирск: НГАСУ, (Сибстрин), 2022. - С. 282-289.

5. Керамические мелкоштучные изделия на основе местных сырьевых материалов и отходов промышленности. Материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. молодых учёных, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов».- Пенза: ПГУАС, 2022. – С. 74-78.

6. Перспективы применения аргиллитов в производстве керамических строительных материалов. Материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. молодых учёных, посвященной памяти профессора В.И. Калашникова «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов».- Пенза: ПГУАС, 2023. – С. 158-163.

7. Использование зол ТЭС в производстве строительной керамики. Материалы IX Всеросс. науч. практ. конф. «Инженерное дело на Дальнем востоке Рос-

сии».- Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2024. – С. 217-224.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 7 печатных работах:

1. Опыт применения композиционных материалов на основе органических и минеральных компонентов. Научный журнал «Наука и техника Казахстана», НАО Торайгыров университет, № 2, 2021г., с. 153-159.

2. Производство керамического кирпича на основе вскрышных пород угледобычи. Научный журнал «Интернаука», Москва, Изд. «Интернаука», № 21(244). Часть 1. 2022 , с. 38-42.

3. Регулирование сушильных свойств керамических масс на основе вскрышных пород угледобычи. Материалы XV межд. научно-технической конференции «Актуальные вопросы архитектуры и строительства».– Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2022. с. 282-289

4. Керамические мелкоштучные изделия на основе местных сырьевых материалов и отходов промышленности. Материалы XVII Международной научно-технической конференции молодых учёных, посвященная памяти профессора В.И. Калашникова «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов» – Пенза: ПГУАС, 2022. – с. 74-78

5. Study of the properties of overburdened rocks from coal minbing: overburden – as a raw material in the production of ceramic bricks. Intern. Journal of GEOMATE, July 2023, Vol. 25, Issue 107, pp.86-94, Scopus Q3. <https://doi.org/10.21660/2023.107.3771>

6. Strong Structure Formation of Ceramic Composites Based on Coal Mining Overburden Rocks. Journal of Composites Science, 2023, 7(5), 209, Scopus Q2. <https://doi.org/10.3390/jcs7050209>

7. Сушильные свойства и формирование конденсационной структуры керамических изделий на основе вскрышных пород угледобычи. Научный журнал «Труды университета» КарГУ имени Абылкаса Сагинова, -Караганда, № 2 (91). 2023, с 167-173. ККСОН.

Структура и объем диссертации:

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения и приложений. Работа содержит 148 страниц машинописного текста, 41 рисунок, 46 таблиц, 4 приложения, список использованных источников из 130 наименований.

Автор выражает искреннюю признательность коллективу кафедры «Строительные материалы и технологии» НАО «Карагандинского технического университета имени А. Сагинова» г. Караганда, коллективу кафедры «Инженерные конструкции, строительные технологии и материалы» Сибирского Государственного Индустриального Университета г. Новокузнецк, коллективу факультета «Архитектуры и строительства» НАО «Торайгыров университет» г. Павлодар.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПО ТЕМАТИКЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

С развитием промышленности количество отходов производства в мире постоянно увеличивается. Только 13,5 % отходов перерабатывается во всем мире, а более 33 % отходов утилизируется нецелесообразным образом (согласно отчета Всемирного банка) [16]. Поэтому возникает необходимость находить эффективные пути их утилизации и переработки.

Использование не возобновляемых ресурсов и снижение их воздействия на окружающую среду являются двумя главными направлениями в достижении главных целей политики государства РК.

Один из способов использования промышленных отходов - это применение их в качестве сырья для производства строительных материалов [17].

Научные исследования, проведенные в Японии, Западной Европе, США и других странах, подтверждают возможность и эффективность использования техногенных отходов, таких как зола, шлак, вскрышные породы угледобычи и другие, для производства различных керамических изделий. [18-21]. Исследованиями прошлых лет доказана возможность применения углеотходов в виде добавок при производстве керамического кирпича [22-25].

Одним из ученых, рассмотревшем в своих работах вопросы по оптимизации процессов сухой подготовки аргиллитов и загрязненных карбонатами глин при изготовлении кирпича является Истомина В. И. Им был проведен ряд исследований, вследствие которых было установлено, что возможно получение кирпича высокой марки при достаточно укрупненном помоле исходного сырья, при соблюдении определенного, установленного гранулометрического состава порошков, которые были получены из аргиллитов засоренных карбонатами [26].

Также было установлено, что на влажность порошка и процессы, протекающие при грануляции, немаловажное влияние оказывает температура сушки. Истоминым В.И. было доказано, что разрушение гранул происходит при температуре сушки 250 °С. Были исследованы вопросы влияния предварительного орошения водой сырьевого состава на влажность порошка и гранулометрический состав, а улучшение гранулометрического состава порошка наблюдалось при расходе воды 0,3-0,4 м³/ч. На основании этого была предложена определенная методика подсчета составов для производства кирпича, установлены наиболее оптимальные параметры процесса подготовки аргиллитов и засоренных карбонатами глин. Основу данной методики, безусловно, положили взаимовлияние таких показателей как гранулометрический состав порошков и качество кирпича, определенный алгоритм работы технологического оборудования при сухой подготовке аргиллитов. Показатели были подтверждены экспериментально.

Анализ научных данных показал, что минеральная составляющая отходов угледобычи близка по оксидному составу к природным глинам, которые являются традиционным сырьем для производства керамических изделий

[27,28]. В отличие от глин, отходы угледобычи представляют собой метаморфизованные углеродосодержащие породы, не размокающие в воде. Получения керамических масс из отходов угледобычи возможно только при разрушении связей природной структуры, измельчением их до определенной крупности, когда проявляется пластическая способность. Кроме того, исследования показали, что многие виды отходов угледобычи и углеобогащения близки по составу и свойствам к традиционному глинистому сырью, применяемому в производстве керамических изделий, таких как керамический кирпич. Аналогия прослеживается по таким критериям как физико-механические свойства, минералогический и химический состав [29].

1.1 Реологические свойства формовочных масс и их влияние на качество керамических изделий

Изучение реологических характеристик широко используется при проведении физических и физико-механических исследований сырья в промышленности строительных материалов.

Рядом ученых было установлено, что переход массы в пластичное состояние осуществляется после разрушения, происходящего вследствие процесса деформации структуры, любой пластичной дисперсной массы, находящейся в непрерывном изменении под влиянием релаксации [30-35].

Физико-химическая механика объединяет проблемы реологии, механики материалов, поверхностных явлений в дисперсных системах. Выдающиеся исследования П.А. Ребиндера, которые легли в основу физико-химической механики, позволили получить различные строительные материалы и разработать оптимальные методы их получения [36]. Имеется ряд исследований доказывающих, что образование изделий строительной керамики напрямую имеет связь с тремя типами структур: коагуляционная, конденсационно-кристаллизационная и кристаллизационная.

Коагуляционная структура образуется при подготовке керамических масс и формовании изделий. Переход от коагуляционной к конденсационно-кристаллизационной структуре происходит при удалении воды в процессе сушки изделий, изготовленных пластическим способом формования. В процессе термической обработки (обжига) осуществляется формирование кристаллизационной структуры керамических изделий.

Большая часть исследований, включая экспериментальные доказательства, касающихся различных типов структур, возникающих при производстве керамических изделий, в основном проводилась на глинах. [37,38].

В ходе формирования керамических масс происходит разделение глинистых частиц благодаря воздействию воды. Связывание этих частиц происходит за счёт преодоления энергетических препятствий, которые создаются оболочками растворителя. Правильно соударяющиеся частицы благодаря кинетической энергии преодолевают эти возникшие барьеры.

Коагуляционная структура обладает ярко выраженной тиксотропией. Кинетика тиксотропного восстановления прочности разрушенной структуры вызывается интенсивным броуновским движением. Прочность коагуляционных структур значительно ниже прочности конденсационно-кристаллизационных структур. Существует определенный ряд констант, которыми можно охарактеризовать свойства коагуляционных структур - это пластическая прочность структуры, вязкость, модули сдвига, пределы текучести и граничные напряжения.

В составе структуры частицы глины на участках, граничащих друг с другом, всегда разделены тонкими остаточными прослойками воды. Этим можно объяснить явление тиксотропии и механические свойства коагуляционных структур. Из этого можно сделать вывод, что данные прослойки и определяют пластичность структуры, так как играют роль своеобразного смазочного материала при контактах частиц глины [39,40].

Процесс подготовки и формирования керамических масс состоит из разрушения природной структуры глин, их дробления, измельчения, увлажнения, переработки и формирования изделий. Отмечается, что в основном процесс подготовки и формирования керамических масс происходит в условиях недостаточного количества воды, в результате чего керамическая масса является предельно концентрированной, структурированной и стабилизированной суспензией.

Сопротивление разрушению и деформациям, которые оказывает внешняя среда, определяют механические свойства материала. Основной константой, характеризующей эти свойства, является период истинной релаксации, то-есть время, в течение которого происходит постепенное рассасывание упругих напряжений сдвига при постоянстве первоначально заданной деформации. Период релаксации выражается отношением вязкости к модулю сдвига и может составлять 300-1400 с.

Одним из наиболее характерных свойств глинистых материалов является пластичность. Пластические свойства керамических масс из глин оцениваются с помощью уравнения Шведова-Бингама :

$$P = P_{\kappa} + \eta_x \cdot \omega , \quad (1)$$

где: P – приложенное напряжение сдвига, вызывающее установившееся течение глины, Па;

P_{κ} – предельное напряжение сдвига, Па;

η_x – пластическая вязкость;

ω – градиент скорости или скорость относительного сдвига.

Для вычисления пластической вязкости вместо действующего напряжения P берут его избыток над пределом текучести $P - P_{\kappa}$.

Установлено, что значения пластической вязкости постоянны в двух случаях:

- когда течение происходит в мало разрушенной структуре при значениях $P > P_{к1}$ (статический предел текучести), то масса характеризуется Шведовской пластической вязкостью:

$$\eta_1 = \frac{P - P_{к1}}{\left(\frac{d\varepsilon}{d\tau}\right) \cdot P \rightarrow P_{к1}}, \quad (2)$$

- когда течение происходит при значительно разрушенной структуре $P_{к2} < P < P_p$, $P_{к2}$ - динамический предел текучести, масса характеризуется пластической Бингамовской вязкостью

$$\eta_m^x = \frac{P - P_{к2}}{\left(\frac{d\varepsilon}{d\tau}\right)} \quad (3)$$

Таким образом, вязкость определяет соотношение деформации к продолжительности деформирования.

Установлено, что теория пластического потока Шведова-Бингама применима к глинистым массам, пластические свойства которых можно охарактеризовать константами: предельным напряжением сдвига и эластической вязкостью.

Ученым Ничипоренко С.П. предложен метод определения оптимального состава керамических масс из глин и отощающих добавок [41].

С помощью конического пластометра П.А. Ребиндера строится график зависимости пластической прочности P_m от абсолютной влажности массы в соответствии с рисунком 1.

График выражается двумя прямыми линиями, первая из которых характеризует развитие гидратных оболочек и адсорбционных пленок воды на поверхности глинистых частиц и увеличение степени диспергирования, что улучшает формовочные свойства массы, а вторая свидетельствует о значительном количестве свободной воды. По точке начала перехода первой прямой во вторую определяют оптимальную формовочную влажность. Величина $ctg\beta$, является показателем формуемости масс и должна быть более 0,2. Керамические массы с $ctg\beta$ менее 0,2 формуются неудовлетворительно. Для глин и каолинов составляет 10-35, для суглинков 7,5-13, для бетонитов 60-85.

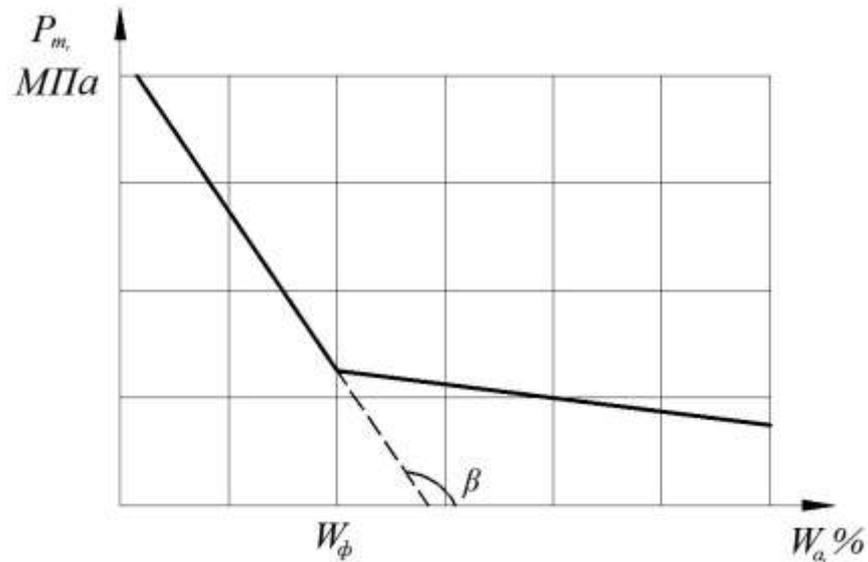


Рисунок 1 - Зависимость пластической прочности от абсолютной влажности масс

Ученый Августиник А.И. отмечает, что значения пластической прочности глин при их рабочем влагосодержании составляет 0,05-0,1 МПа. Физическую сущность процесса подготовки и формования масс можно установить, исследуя кинетику развития деформационных процессов во взаимосвязи с процессами коагуляционного структурообразования [42].

Был проведен ряд исследований коагуляционных структур глин и их свойств, показавших, что в большинстве случаев развитие деформации сдвига во времени может быть описано с использованием формулы Максвелла-Шведова и Кельвина. Это учитывает как количество дисперсной фазы, так и зависимость от конкретного типа глинистых минералов.

В состав формулы входят три показателя, характеризующие величину деформации, такие как пластичная, медленно эластичная и упругая, которые необходимо суммировать.

Данным уравнением можно описать кривую деформационного процесса:

$$\varepsilon = \frac{P}{E_1} + \frac{P}{E_2} \cdot \left(1 - l \frac{E_2 \cdot \tau}{\eta_2}\right) + \frac{P - P_{к1}}{\eta_1} \cdot \tau \quad (4)$$

η_1 – наибольшая пластическая вязкость;

η_2 – условный статический предел текучести;

ε – полная относительная деформация;

P – действующее напряжение;

E_1 и E_2 – модули соответственно условно-мгновенный и эластичный;

τ – длительность деформационного процесса;

.

В уравнении $\frac{P}{E_1} = \varepsilon_0$ - это быстрая эластическая (упругая) деформация,
 $\frac{P}{E_2} \cdot \left(1 - l \frac{E_2 \cdot \tau}{\eta_2}\right) = \varepsilon_2$ - медленная эластическая и
 $\frac{P - P_{KI}}{\eta_1} \tau = E_1$ - пластическая деформация.

Глины делятся на шесть структурно-механических типов в соответствии с соотношением величин указанных видов деформаций: нулевой $\varepsilon_0 > \varepsilon_2 > \varepsilon_{1\tau}$, первый $\varepsilon_2 > \varepsilon_0 > \varepsilon_{1\tau}$, второй $\varepsilon_2 > \varepsilon_{1\tau} > \varepsilon_0$, третий $\varepsilon_0 > \varepsilon_{1\tau} > \varepsilon_2$, четвертый $\varepsilon_{1\tau} > \varepsilon_0 > \varepsilon_2$, пятый $\varepsilon_{1\tau} > \varepsilon_2 > \varepsilon_0$.

Практически установлено, что для хорошо формуемых глин характерны следующие показатели структурно-механических свойств: эластичность $\lambda=0,6-0,65$; пластичность $\varphi=2,0-2,5 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$; период истинной релаксации $\theta=1200-1400 \text{ с}$.

Таким образом, признаками по оценке качества керамических масс можно считать указанные структурно-механические характеристики.

Пользуясь этими характеристиками, можно управлять структурой и свойствами масс в процессе их переработки при помощи введения добавок, применения различных технологических приемов, что обеспечит получение изделий бездефектной структуры с заданными оптимальными свойствами.

1.2 Регулирование реологических свойств керамических масс технологическими методами и введением добавок

Процессы структурообразования, рассмотренные с позиции физико-химической механики дисперсных систем, происходят в результате корректировки составов по таким критериям как структурно-механические свойства и их регулирование.

Разработаны методы управления структурно-механическими свойствами дисперсных систем, методы по составлению смесей из различных вариантов глинистых минералов, под воздействием гидротермальной обработки и под влиянием магнитных полей [43].

Исследования производили с корректировкой формовочных свойств масс для керамических изделий, добавлением в состав различного рода добавок и установили, что их введение вызывает катионный обмен и дает возможность управлять процессом структурообразования путем увеличения или уменьшения явлений пептизации и коагуляционного сцепления [44,45].

Было обнаружено, что включение заполнителей, таких как песок и шамот, в состав глинистых смесей, может привести к существенным изменениям в коагуляционных структурах. Это происходит за счет снижения воздействия молекулярных сил между частицами глины.

Наибольшее развитие обретают медленные пластические деформации [46]. Было отмечено, что происходит уменьшение пластических деформаций в результате местного разрушения коагуляционной структуры, вызванной введением отощителя, происходят значительные изменения в структурно-механических процессах взаимодействия глин.

Получены массы на основе смеси глинистых минералов со следующими показателями структурно-механических свойств: низкой влагоотдачей, высокими значениями предельного статического напряжения сдвига и структурно-механических констант, максимальным периодом истинной релаксации и высокой прочностью коагуляционной структуры, относящейся к четвертому структурно-механическому типу.

Выявлено, что величина структурно-механических характеристик в зависимости от количественного содержания и вида компонентов изменяется в широких пределах. Добавка песка вызывает увеличение вязкости, снижение пластичности массы. С введением в массу дегидратированной глины вязкость уменьшается, коагуляционная структура становится более пластичной и эластичной, период истинной релаксации масс завершается в 2,7 раза быстрее, чем из чистых глин. Наиболее высокими показателями структурно-механических свойств обладают массы с добавкой 20 % золы.

Исследованы реологические свойства, а также влияние различных добавок на технологические свойства легкоплавких гидрослюдистомонтмориллонитовых глин, характеризующихся высокой карьерной влажностью, значительным развитием пластических деформаций и высокой чувствительностью к сушке. Ввод в шихту 30% дегидратированной глины способствовал улучшению технологических свойств масс, снижению пластических деформаций и чувствительности к сушке[47].

Известны исследования, в которых улучшение структурно-механических свойств достигнуто введением грубодисперсных отощающих материалов одновременно с пластифицирующими. В качестве пластифицирующих добавок использованы поверхностно-активные вещества – СДБ, ССБ и другие, в качестве структурирующих – отходы камнедробления на щебеночных заводах, выгорающих – уголь, опилки [48].

Благодаря исследованиям [49,50] разработаны физико-химические способы улучшения качества глиняного кирпича. Введение СДБ, мазутно-водной эмульсии, технически отработанного масла к глинам с числом пластичности 13,2 и коэффициентом чувствительности к сушке, равным 1,1, достигнуто увеличение пептизации глинистых частиц, пластичности – до 14-15, снижение пластической прочности и формовочной влажности на 10 и 2 % соответственно.

Был выполнен анализ воздействия добавок различных минерализаторов, таких как NaF и MnO₂, на процесс формирования структуры и свойств систем. Изучение структурно-механических свойств систем позволило установить значительные различия в параметрах их коагуляционных структур. Добавка NaF в количестве 1 % привела к резкому увеличению вязкости, условного модуля де-

формации, предварительного напряжения сдвига, эластичности и уменьшения периода истинной релаксации.

Установлено, что на улучшение формовочных и структурно-механических свойств масс положительное влияние оказывает введение в состав органических примесей таких как лигнин или микроорганизмы.

Как показали исследования, среди отходов промышленности имеются такие, которые оказывают заметное пластифицирующее воздействие, на керамические массы, это бокситовые шламы и отходы анилинового производства, а также золы и тонкомолотые шлаки металлургического производства, хвосты и ваграночные шлаки. При этом достигнуто снижение формовочной влажности масс в среднем на 4,5-6,0 %, улучшены их формовочные и структурно-механические свойства [51].

Исследовалось влияние олеата натрия на пластические свойства системы каолин-вода, в результате чего установлено, что вязкость каолина повышается, а предельное напряжение сдвига уменьшается [52]. Уменьшение предельного напряжения сдвига с добавкой олеата натрия объясняется смазочным действием адсорбционных слоев.

Выявлены корреляционные зависимости между такими характеристиками как дисперсность материалов, пластичность, эластичность и период истинной релаксации. Показано влияние химического состава материалов на эластичность и пластичность масс. Установлено, что использование основных структурно-механических мер по оценке пластичных материалов и определение взаимосвязей между показателями этих характеристик и основными общеустановленными свойствами глин позволяют регулировать технологические свойства масс.

Известны способы регулирования структурно-механических характеристик масс путем подбора режимов их подготовки и механической обработки, изменением степени дисперсности глин.

Ученый Ребиндер П.А. указывает на необходимость тонкого измельчения твердых материалов, что позволяет значительно ускорить процессы формования масс и улучшить качество изделий, причем, подчеркивает необходимость разработки научно-обоснованной оптимальной технологии измельчения.

Установлено, что с увеличением температуры глиняных масс в них растет скорость коагуляционного структурообразования за счет интенсивного броуновского движения. С повышением температуры прочность молекулярных связей ослабляется, поверхностная гидратация этих же частиц уменьшается [53].

Теоретическое обоснование процесса вакуумирования как метода улучшения структурно-механических свойств масс дано ученым П.П. Будниковым, который утверждает, что с увеличением вакуума предельное напряжение сдвига глин возрастает за счет увеличения сцепления глинистых частиц, а коэффициент внутреннего трения при течении уменьшается [54].

Проведены экспериментальные исследования по изучению влияния дисперсности глин в зологлиняных массах различной влажности на их структурно-механические свойства. Показано влияние процесса вылеживания на формовочные свойства зологлиняных масс. Отмечается необходимость достижения стабильности исходных свойств сырья, точности дозирования компонентов шихты [55].

Из вышеизложенного следует, что структурно-механические характеристики керамических масс, регулируют в соответствии с физико-механическими показателями готовых изделий путем изменения степени дисперсности глин, рационального составления шихт, введения различных добавок, в том числе отходов промышленности, подбора режимов подготовки и механической обработки масс. Причем, в качестве основного сырьевого компонента, преимущественно используются глины различных типов.

При производстве керамического кирпича с использованием новых видов сырья возникает необходимость исследования их структурно-механических характеристик.

1.3 Структурно-механические характеристики керамических масс и способы их регулирования

По происхождению отходы угольной промышленности подразделяются на две основные группы: отходы углеобогащения – отходы флотационного и гравитационного обогащения и отходы угледобычи – вскрышные и шахтные породы. Важнейшая особенность этих отходов – содержание органического вещества.

Исследования, проведенные как отечественными, так и зарубежными организациями и предприятиями, подтверждают потенциал и технико-экономическую целесообразность использования отходов, получаемых при добыче и обогащении угля, в производстве изделий стеновой керамики. [56-62]. Институтом НИИСтром были проведены исследования по изучению основных свойств и характеристик физико-механических показателей отходов углеобогащения, способность их дальнейшего применения в качестве сырьевой базы при производстве керамических изделий. Установлено, что первостепенное влияние на формуемость и сушильные свойства керамических масс из отходов углеобогащения имеет степень их измельчения. Кроме того, получение составов с заранее спрогнозированными свойствами, можно обеспечить за счет изменения влажности, введения необходимых корректирующих добавок для регулировки состава и изменения грануляции состава шихты [63,64].

Важными технологическими свойствами отходов угледобычи являются их дисперсность, пластичность и связующая способность. Эти отходы обладают высокой плотностью, и, как правило, плохо размокают в воде, что оказывает существенное влияние на способы их помола.

Как известно, на число пластичности глин влияют степень дисперсности минеральных частиц, их форма, химический состав воды. Эти факторы присущи и отходам угледобычи, но особо следует отметить, что большое влияние на степень пластичности и формуемость масс из отходов угледобычи оказывают содержащиеся в них органические вещества.

Возможность регулирования структурно-механических характеристик керамических масс с использованием отходов угольной промышленности изучена при исследовании отходов углеобогащения как основного вида исходного сырья при выпуске керамических изделий.

Исследован ряд реологических характеристик масс для дальнейшего производства керамических стеновых материалов из сланцевых глин и аргиллитов. Для улучшения этих характеристик авторы осуществляли тонкий помол пород, многократное и длительное перемешивание увлажненных до 4-6 % шихт во вращающихся силосах и последующем доувлажнении с паропрогревом. [65].

Установлен ряд возможностей по применению вскрыши угледобычи с целью производства изделий строительной керамики. Установлено, что по характеру развития деформаций формовочные массы из вскрышных пород относятся к первому и второму структурно-механическим типам с преобладающим развитием эластических деформаций, что характеризует их как удовлетворительно формуемые смеси.

Исследования формуемости масс на основе отходов обогащения углей проводилось по методу вдавливания штампа постоянного сечения, позволяющему приблизиться к условиям деформации массы в прессе. Консистенция и формуемость масс из отходов определялись степенью их измельчения. Установлено, что у пластичных отходов углеобогащения зависимость пластической прочности от формовочной влажности аналогична глиняным, но при изменении влажности пластическая прочность изменяется более резко, чем у глин. У малопластичных отходов углеобогащения график указанной зависимости при влажности 19-19,5 % имеет перегиб, свидетельствующий об уменьшении сцепления частиц массы в плоскости сдвига.

1.4 Сушка керамических изделий и процессы формирования конденсационной структуры

Главным технологическим требованием к процессу сушки в производстве керамических изделий является предотвращение появления трещин на поверхности и искажений формы (короблений).

Формирование конденсационной структуры во время сушки изделий представляет собой промежуточную стадию между коагуляционной структурой, сформированной в процессе формования, и кристаллической структурой, которая формируется после обжига изделий.

Основы теории сушки разработаны и обоснованы учеными А.Ф.Чижским, А.В.Лыковым, К.А.Нохратяном и др. [67-69].

Появление трещин на керамических изделиях, является дефектом, образующимся в процессе сушки. Данные изменения объясняются тем, что поля влагосодержания и температуры неравномерны, следовательно, и деформации тоже. Как установлено, избыточное давление влаги и паров внутри изделия, также может служить предпосылкой образования трещин. Перепады влагосодержания являются самыми опасными.

В.Я. Толкачев показал, что в процессе сушки керамических строительных материалов влага мигрирует изнутри наружу. Это явление, известное как поверхностное испарение, происходит по всему изделию. На этот процесс влияют несколько факторов, включая структуру материала, тип связывания влаги, условия сушки, относительная влажность, температура, и скорость движения теплоносителя [70].

Процесс сушки включает в себя изменение температуры и влагосодержания сырья, изменение скорости сушки, развитие усадки и усадочных напряжений, а также общую продолжительность сушки. Управление интенсивностью испарения влаги на разных этапах сушки, а также управление усадкой, усадочными напряжениями, временем сушки, свойствами и расходом теплоносителя осуществляется путем создания соответствующего режима сушки. [71].

Режим сушки характеризуется тремя периодами: нагревом, постоянной и падающей скоростями сушки (рисунок 2).



I - усадка (влагоотдача); II - скорость сушки (уменьшение массы кг/(м²·ч));
 III - температура материала, °C; К - точка критической влажности

Рисунок 2 – Кривые сушки

На начальном этапе сушки полуфабрикат быстро нагревается от начальной температуры до температуры насыщенного теплоносителя. На начальную ско-

рость сушки влияют такие факторы, как температура, влажность и скорость движения теплоносителя, а не содержание воды в продукте. На этом этапе скорость сушки соответствует скорости испарения воды с поверхности продукта. К концу этой фазы устанавливается равновесие между теплом, используемым для нагрева полуфабриката, и теплом, используемым для испарения влаги.

На последующем этапе сушки кривая скорости сушки выравнивается, указывая на то, что скорость сушки теперь равна скорости испарения влаги с поверхности. В этот период содержание влаги в полуфабрикате уменьшается почти линейно. Температура поверхности продукта остается постоянной, так как большая часть тепла уходит на испарение влаги, а поверхность остается влажной из-за миграции влаги из внутренних слоев. Период постоянной скорости сушки продолжается до тех пор, пока количество воды, испаряющейся с поверхности продукта, не превысит количество воды, переносимой из внутренних слоев за счет диффузии, осмотических и капиллярных сил.

Во втором периоде интенсивность сушки определяется уже не скоростью испарения влаги с поверхности изделия, а скоростью её перемещения из внутренних слоев наружу. В результате этого скорость сушки уменьшается, что отображается на кривой сушки изломом в точке "К", обозначающей завершение второго периода. Влажность, при которой заканчивается второй период, называется критической для данного материала при данных параметрах теплоносителя. К концу второго периода влагосодержание поверхности материала становится равным его равновесному влагосодержанию, фронт испарения влаги перемещается внутрь материала, и начинается третий период сушки.

Третий период сушки характеризуется снижением скорости сушки и повышением температуры полуфабриката. На этом этапе интенсивность выделения влаги пропорциональна средней влажности материала, которая колеблется от критической до конечной. Количество влаги, удаляемой в процессе сушки, определяется разницей между начальной и равновесной влажностью материала.

В этот период допускается значительное увеличение как температуры, так и скорости движения теплоносителя. Поскольку начальная фаза сушки (период нагрева) относительно коротка, ее иногда объединяют со вторым периодом, в результате чего весь процесс делится на период с постоянной скоростью сушки и период с уменьшающейся скоростью сушки. Влага, удаленная до достижения равновесия, классифицируется как свободная влага, в то время как оставшаяся влага считается связанной. Сушку изделий прекращают при достижении конечной влажности (W_k), которая меньше критической ($W_{кр}$), но больше или равна равновесной влажности (W_p): $W_{кр} > W_k \geq W_p$.

Удаление влаги из полуфабриката сопровождается воздушной усадкой, которая может достигать 8-12%. Изменение содержания влаги в полуфабрикате и его усадка создают усадочные напряжения, вследствие чего на изделии могут возникать трещины и деформации. Перепад влажности между внутренними слоями и поверхностью изделия, отнесенный к единице длины, называется поверхностным градиентом влажности. Момент появления трещин в изделии

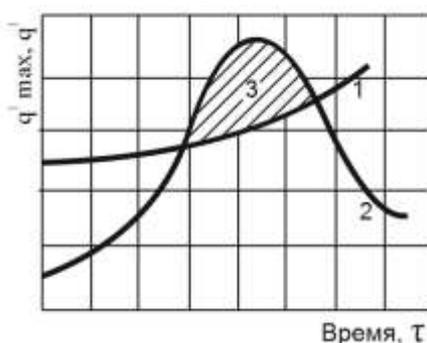
определяется критическим градиентом влажности, по которому устанавливаются оптимальные условия сушки.

Чем больше градиент влажности между поверхностным и внутренним слоями керамического материала, тем сильнее развиваются усадочные напряжения. Значительная усадка происходит на этапе максимального удаления влаги и возникновения капиллярных сил, которые становятся более выраженными по мере уменьшения размера частиц и увеличения пластичности массы. Эти капиллярные силы могут достигать 6,8 МПа для пластичных глин и 2,0-2,5 МПа для каолинов.

Усадку и связанные с ней напряжения можно контролировать с помощью различных добавок, например, усадочных агентов, которые изменяют условия внутренней и внешней диффузии влаги. Продолжительность сушки изделий зависит от нескольких факторов, в том числе от физико-технологических свойств массы, начальной и конечной температур полуфабриката и теплоносителя, относительной влажности теплоносителя, размера, вида и конфигурации изделий, температурного режима и конструктивных особенностей сушильного оборудования. В естественных сушилках продолжительность сушки составляет от 2 до 20 дней, в то время как в искусственных сушилках этот процесс занимает от 10-30 минут до 48 часов.

Безопасной скоростью сушки считается такая, при которой скорость испарения влаги не превышает 4 кг/(м²-ч). Правильная конструкция, обеспечивающая оптимальное соотношение между массой продукта и его испаряющей поверхностью, способствует эффективной сушке. Этому требованию отвечают керамические пустотелые камни с пустотностью более 50 % и максимальной толщиной стенок 12-15 мм.

Длительность сушки может быть сокращена путем добавления влагопоглощающих материалов в начальный период и увеличения температуры и скорости теплоносителя во второй период. Однако при любом ускорении процесса сушки, скорость сушки не должна превышать максимально допустимую, чтобы предотвратить растрескивание продукта (как показано на рисунке 3, заштрихованная область).



1 - максимально допустимая; 2 - фактическая; 3 - область вероятного растрескивания изделий

Рисунок 3 – Кривые безопасной скорости сушки

Сушка изделий методом конвективного нагрева с использованием теплоносителя является наиболее распространённой. Применение циклической подачи теплоносителя, инъекционной подачи, установка циркуляционных вентиляторов и другие меры лишь частично улучшают процесс сушки при конвективном теплообмене, но не устраняют основного недостатка этого метода – значительной неравномерности и длительности сушки.

1.5 Процессы формирования кристаллизационной структуры при обжиге керамических изделий

Рассматривая процессы структурообразования керамических материалов, необходимо отметить, что наиболее важным этапом является обжиг. Исследованию структурообразования при обжиге посвящены работы многих ученых [76-79].

В.Ф. Павлов отмечает, что в ходе протекания процесса по образованию структур керамических материалов на основе различных вариаций глин, с различными химическими и минералогическими составами, рекомендовано обеспечение составом массы, образования определенного количества жидкой фазы, которая должна быть непосредственно близка к основной структуре спекающейся твердой фазы [80].

Строение жидкой фазы имеет первостепенное значение при жидкостном спекании. Одним из способов регулирования строения расплава и, соответственно, интенсификации структурообразования, является добавление в состав смесей компонентов, влияющих на дефектность структуры спекаемых материалов и способствующих образованию вторичной твердой фазы.

Технологические режимы производства, такие как: условия формования изделий, полнота и равномерность смешивания, степень измельчения исходных компонентов, оказывают большое влияние на образование жидкой фазы.

Тонкодисперсное состояние компонентов массы способствует более интенсивному их взаимодействию благодаря увеличению удельной поверхности частиц и их поверхностной энергии, более низкой температуре плавления, лучшему взаимодействию с минерализующими добавками.

П.П. Будниковым и А.И. Гинслингом было рассмотрено образование структур керамического материала с точки зрения твердофазных реакций. По их мнению, основные изменения при обжиге происходят в твердых фазах, но при этом большое значение придается жидкой фазе. Авторы считают, что основная роль жидкой фазы заключается в том, что она, смачивая твердые частицы, благодаря своему поверхностному натяжению, сближает их и склеивает в монолит [81].

Ускорение процессов структурообразования керамических материалов при обжиге достигается регулированием свойств как твердой, так и жидкой фазы. Состав, строение, количество, вязкость, поверхностное натяжение - это свой-

ства жидкой фазы, которые оказывают значительное влияние на структурообразование массы.

У.Д. Кингери отмечает, что процесс структурообразования протекает по нескольким стадиям уплотнения монолита [82]. На первой стадии перераспределяются зерна. На второй стадии можно наблюдать процессы растворения и вторичной кристаллизации, вследствие увеличения плотности. Жидкая фаза, пресыщаясь твердой фазой, может вновь ее выделить на стенках пор, способствуя их зарастанию.

Повышение плотности монодисперсного материала можно достичь введением определенного количества более мелких частиц, при этом создается прерывистый гранулометрический состав, что позволяет повысить механическую прочность. Также доказано, что менее плотная упаковка частиц, происходит по причине достижения однородности гранулометрического состава, что ведет к увеличению пористости и снижению механической прочности. Предлагается характеризовать зерновой состав полидисперсного материала по двум параметрам: удельной поверхности и показателем однородности гранулометрического состава.

Исследования фазовых превращений глин различного минералогического состава подтверждают, что основной структурной составляющей керамического материала, которая в значительной степени определяет его свойства, является кристаллическая фаза, представленная муллитом, зернами кварца и кристобалитом. Муллит, являясь основной составной частью керамики, оказывает большое влияние на ее основные свойства. В связи с этим, предметом многочисленных исследований является вопрос синтеза муллита в керамическом материале. Реакции, в результате которых каолинит переходит в муллит, наиболее важны для керамической технологии.

Система перехода каолинита в муллит подробно изучена. Установлена структурная зависимость непрерывного фазового превращения от каолинита до муллита: дегидратация каолинита, переход метакаолинита в шпинелеподобную фазу и разрушение шпинелевой фазы при температуре 1000-1050°C с образованием муллита и выделением большого количества кремнезема.

Размеры и форма кристаллов муллита в зависимости от температуры и длительности обжига, наличия легкоплавких компонентов в исходных сырьевых материалах могут быть различными. Наиболее разнообразны в этом отношении кристаллы муллита, которые образуются из глины, содержащей в качестве примесей или в виде добавок различные плавни, слюдистые минералы, полевые шпаты, перлит и другие.

В работах исследователей отмечается влияние муллита на механическую прочность, а также на термическую стойкость керамических материалов. Указывается, что наибольшее повышение механической прочности достигается при частичной или полной замене кварца глиноземистыми материалами, однако, при этом повышается температура обжига.

Установлено, что при повышении содержания муллита и кварца в фазовом составе керамики прочность ее увеличивается, причем муллит вызывает более значительное увеличение прочностных показателей, чем кварц. Количественный выход муллита различен и обусловлен химико-минералогическим составом глин [83,84].

Исследования процессов структурообразования керамики в основном сосредоточены на системах, использующих различные виды глин. Однако структурные изменения, которые претерпевают вскрышные породы в процессе производства строительной керамики, изучены недостаточно полно.

Из литературного анализа следует, что минеральная составляющая отходов угледобычи близка по оксидному составу к природным глинам - традиционному исходному компоненту для производства керамических изделий. В отличие от глин, отходы угледобычи представляют собой метаморфизованные углеродосодержащие породы, не размокающие в воде. Для производства керамических масс из отходов угледобычи необходимо разрушить цементирующие связи природной структуры пород путем их измельчения до определённого фракционного состава.

Выводы

Таким образом, исследованиями, выполненными как у нас в стране, так и за рубежом, доказана эффективность использования отходов угольной промышленности в производстве керамических изделий.

Изучен опыт исследований структурно-механических характеристик и свойств керамических масс из углеотходов и способы их регулирования с целью получения изделий с заданными свойствами и структурой.

Однако, в большинстве своем, проведенные исследования распространяются на керамические массы из отходов углеобогащения, тогда как по отходам угледобычи в этой области имеются незначительные данные.

Согласно современным стандартам, технология производства керамических строительных материалов предполагает целенаправленное регулирование процессов структурообразования при формовании, сушке и обжиге. Это должно обеспечить получение коагуляционной структуры при подготовке и формовании измельченных отходов угледобычи, конденсационной структуры в отформованных изделиях при сушке и кристаллизационной структуры при обжиге.

Существует необходимость более глубокого изучения структурно-механических характеристик и свойств керамических масс, полученных из отходов угледобычи, а также разработки методов регулирования этих свойств для предотвращения дефектов при формовании, сушке и обжиге.

Несмотря на имеющийся задел, процессы формирования коагуляционных, конденсационных и кристаллизационных структур из отходов угледобычи, а также методы регулирования этих характеристик в процессе формования, сушки и обжига для получения керамического кирпича с заданными свойствами до

конца не изучены. Следовательно, изучение этих процессов для получения керамических материалов с заданными свойствами является актуальным и инновационным.

Выдвинута рабочая гипотеза, согласно которой, необходимо исследовать закономерности образования и регулирования коагуляционно-конденсационной и кристаллизационной структур керамических изделий на основе вскрышных пород и путем подбора рационального фракционного состава и введением различных добавок обеспечить бездефектное формование и получение изделий с заранее спрогнозированными эксплуатационными свойствами.

Задачи, которые необходимо решить:

- выявить закономерности изменения свойств и составов вскрышных пород в зависимости от их литологических типов и горизонтов залегания;
- установить оптимальный состав шихты, обеспечивающий образование хорошо формующихся коагуляционных структур;
- изучить процессы формирования и регулирования конденсационной структуры керамических изделий из вскрышных пород при сушке;
- выявить закономерности образования кристаллизационных структур изделий в зависимости от режимов их термической обработки;
- разработать технологический регламент производства керамических изделий из вскрышных пород, передать полученные результаты к внедрению с оценкой технико-экономической эффективности.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Обоснование выбора объекта исследования

На Екибастузском угольном месторождении в Республике Казахстан при открытой добыче угля образуются большие объемы вскрышных пород угледобычи, которые направляются в отвалы. На сегодняшний день в них накоплено около 4 миллиардов м³ вскрышных пород, примерно 600 миллионов из которых могут быть потенциально использованы для производства керамических изделий. Отвалы вскрышных пород угледобычи достигают высоты до 100 метров и занимают значительные территории рядом с городом Екибастуз. Эти отходы ухудшают экологическую ситуацию в регионе и являются источником различных проблем, таких как пыльные бури, возгорания и загазованность.

На рисунке 4 приведено расчетное количество техногенных отходов, произведенное предприятиями Павлодарской области (Республика Казахстан) на 2021 год [85]. Объем техногенных отходов позволяет говорить о возможности появления серьезной сырьевой базы для производства строительных изделий.

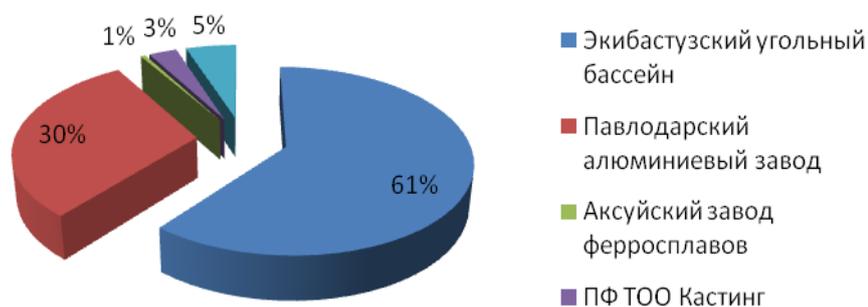


Рисунок 4 – Расчетное количество техногенных отходов (2021 год)

В настоящее время в Екибастузском бассейне действуют угольные разрезы «Богатырь», «Северный» и «Восточный» общей производительностью до 140 млн. тонн угля в год. На 1 тонну добываемого угля приходится около 4 тонн вскрышных пород, которые вывозятся в отвалы (рисунок 5).

Геологические исследования показывают, что аргиллиты и алевролиты и углистые сланцы составляют основную часть отходов угледобычи по сравнению с другими типами пород.

Аргиллит это твердая глинистая порода, образовавшаяся в результате уплотнения, гидратации и цементации глин. Характеризуется серым, темно-серым или черным оттенком, обусловленным неравномерным содержанием органических веществ и остатков растительности. Обладает свойством легкого раскалывания и имеет характерный раковистый излом.

Алевролит представляет собой цементированную глинопесчаную породу, сформированную из обломочных частиц. Его окраска варьирует от серого до темно-серого, а текстура характеризуется горизонтально волнистой слоистостью.

Углистый сланец представляет собой высокоминерализованную породу, содержащую углистые и слабоуглистые горючие сланцы, периодически разделенные тонкими прослойками аргиллита и алевролита.



Рисунок 5 – Екибастузский угольный бассейн (аэрофотосъемка, масштаб 1:1000)

В глинистых минералах аргиллитов и алевролитов преимущественно присутствуют гидрослюда, каолинит и монтмориллонит. Характерной особенностью вскрышных пород является наличие остаточного угля, который смешан с минеральными компонентами в виде сrostков.

Использование традиционных исходных материалов в технологии строительной керамики становится все более дорогостоящим, что приводит к увеличению цены на готовую продукцию. Поэтому использование вскрышных пород от добычи угля представляет собой новый подход к рациональному и экологически целесообразному использованию вторичного сырья, что может привести к снижению итоговой стоимости керамических изделий.

Вскрышные породы Екибастузского угольного бассейна, такие как аргиллиты и алевролиты, представляют собой ценные органоминеральные материалы. Их свойства схожи с традиционными глинами, что позволяет использовать их в качестве сырья для производства керамических строительных материалов. [86]. Использование аргиллитов и алевролитов

позволит снизить энергоемкость и себестоимость производства, повысить технические характеристики получаемой продукции, улучшить экологическую обстановку в регионе.

2.2 Характеристика сырьевых материалов

Объектом исследования являются вскрышные породы Екибастузского угольного бассейна, причем разных литологических типов и горизонтов залегания. Были изучены вскрышные породы разреза "Восточный", включающие аргиллиты и алевролиты на горизонтах +50, +100, +150 м, а также углистые сланцы (рисунок 6).



Рисунок 6 – Вскрышные породы Екибастузского угольного бассейна:
a – аргиллит; *b* – алевролит; *c* – углистый сланец

Алевролиты и аргиллиты Екибастуза относятся к породам карбонового возраста. Эти породы образовались в результате цементации и дегидратации первичных глинистых минералов. В природных условиях эти породы не размокают в воде. Для использования их необходимо предварительно измельчить до более мелких частиц, тем самым нарушив цементирующие связи глинистых составляющих. [87].

В качестве добавок в работе изучены высокоминерализованные углистые сланцы, пластичная Калкаманская глина и высокоосновной оксихлорид алюминия.

Изучив результаты химического анализа вскрышных пород различного литологического типа, можно оценить количественное присутствие породообразующих оксидов (см. табл. 1). Содержание оксида кремния (SiO_2) колеблется от 56,7 до 61,3 %. Это соединение существует как в связанном, так и в свободном состоянии. Связанный кремнезем входит в состав глинообразующих минералов, а свободный - в примеси тонкодисперсного кварца, составляя 16-25%. Судя по доле свободного кварца, вскрышные породы относятся к сырью со средним содержанием кварца.

Таблица 1 – Химический состав сырьевых материалов

| Наименование сырья | Оксиды, % | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|--|------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|--------|
| | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ +FeO | MgO | MnO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | SO ₃ | п.п.п. |
| горизонт +50 м аргиллит | 17,6 | 56,7 | 0,9 | 5,6 | 1,1 | 0,1 | 0,2 | 1,2 | 1,9 | 0,25 | 0,15 | 12,1 |
| | 18,5 | 61,1 | 1,03 | 3,4 | 0,9 | 0,12 | 0,85 | 1,32 | 2,06 | 0,25 | 0,21 | 10,4 |
| горизонт +100 аргиллит | 17,7 | 57,7 | 0,85 | 6,4 | 1,2 | 0,1 | 0,77 | 0,57 | 2,39 | 0,3 | 0,10 | 11,0 |
| | 17,96 | 59,9 | 0,93 | 4,18 | 1,1 | 0,09 | 0,74 | 1,06 | 2,24 | 0,25 | 0,22 | 10,9 |
| горизонт +150 аргиллит | 18,4 | 57,7 | 0,86 | 5,6 | 0,94 | 0,12 | 0,73 | 0,47 | 2,54 | 0,38 | 0,19 | 11,6 |
| | 17,6 | 61,3 | 0,93 | 4,02 | 0,03 | 0,08 | 0,56 | 1,38 | 2,11 | 0,28 | 0,28 | 10,06 |
| углистый сланец | 20,0 | 72,0 | 1,2 | 1,4 | 0,3 | 0,11 | 0,2 | 0,25 | 2,0 | 0,1 | 0,15 | 0,2 |
| | 21,0 | 75,0 | 1,4 | 1,7 | 0,5 | 0,12 | 0,3 | 0,40 | 2,2 | 0,14 | 0,29 | 0,4 |
| глина Калкаманская | 18,73 | 60,23 | 1,02 | 6,37 | 1,10 | 0,1 | 1,28 | 0,20 | 0,80 | 0,12 | 0,83 | 9,73 |

В состав глинообразующих минералов и примесей слюды входит оксид алюминия (Al₂O₃). В аргиллитах его содержание колеблется от 17,6 до 18,4 %, в алевролитах - от 17,6 до 18,5 %. При учете содержания алюминия после прокаливания вскрышные породы относятся к категории полукислого сырья.

Оксиды железа присутствуют в изученных образцах на уровне 5,6-6,4 % в аргиллитах и 3,4-4,18 % в алевролитах. Эти соединения железа состоят в основном из пирита и сидерита.

Оксиды щелочноземельных металлов являются компонентами глинистых минералов и карбонатов. Суммарное содержание оксидов натрия и калия в различных литологических типах и горизонтах колеблется от 2,96 до 3,36%. Щелочные оксиды Na₂O и K₂O входят в состав глинообразующих минералов, а также присутствуют в примесях в виде водорастворимых солей. Содержание оксида серы (SO₃) не превышает 0,28 %, что свидетельствует о низком содержании серы во вскрышных породах, что делает их экологически безопасными для использования в производстве керамики. Вскрышные породы также содержат органический углерод [88].

В соответствии с диаграммой промышленного назначения, предложенной ученым А.И. Августинником для глин, в зависимости от их химического состава, (рисунок 7) [42], соотношение мольных долей глинозема и кремнезема, а также суммарное количество оксидов (CaO, MgO, Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, TiO₂), вскрышные породы угледобычи частично находятся в зоне пригодности для производства керамического кирпича, черепицы и других изделий.

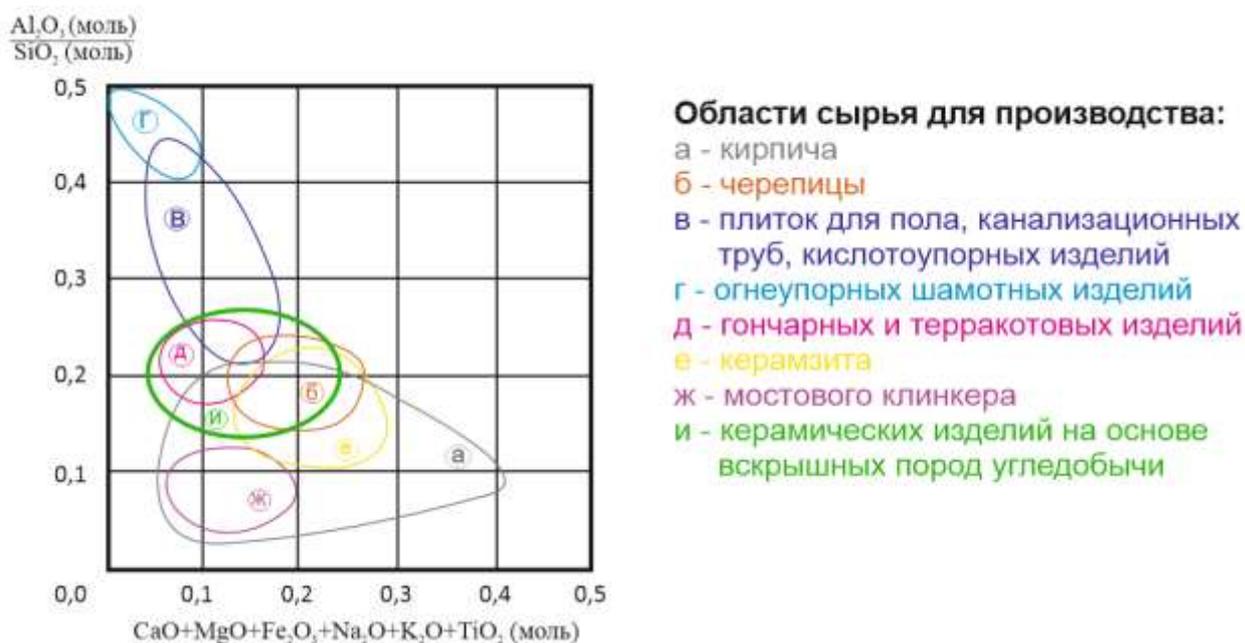


Рисунок 7 – Диаграмма промышленного назначения глин в зависимости от их химического состава (А.И. Августинника)

Проведена оценка радиоактивной безопасности вскрышных пород угледобычи как сырья для производства строительных керамических материалов. Определены удельные активности естественных радионуклидов (таблица 2).

Таблица 2 – Результаты определения удельных активностей естественных радионуклидов

| Наименование сырья | Наименование естественных радионуклидов, удельная активность А, Бк/кг | | | Эффективная удельная активность, $A_{эфф}$, Бк/кг |
|--------------------|---|--------------------------|--------------------------|--|
| | калий, ^{40}K | торий, ^{232}Th | радий, ^{226}Ra | |
| горизонт +50 | | | | |
| аргиллит | 618 | 52 | 37 | 158 |
| алевролит | 604 | 50 | 33 | 151 |
| горизонт +100 | | | | |
| аргиллит | 712 | 39 | 28 | 178 |
| алевролит | 703 | 36 | 24 | 165 |
| горизонт +150 | | | | |
| аргиллит | 685 | 36 | 29 | 182 |
| алевролит | 672 | 34 | 27 | 173 |

Анализ собранных данных показывает, что вскрышные породы, соответствуют нормам радиационной безопасности, могут быть без ограничений использованы в производстве всех строительных материалов [89].

Присутствие редкоземельных и благородных элементов в этих породах относительно минимально, что делает их непригодными для промышленной добычи. Более того, содержание таких опасных элементов, как свинец, хром, бериллий, мышьяк, сурьма, галлий, ртуть и т.д., находится ниже предельно допустимых концентраций. Следовательно, общий состав позволяет отнести эти породы к относительно экологически безопасному сырью (таблица 3). Полученные результаты были сопоставлены с содержанием, подлежащим количественной оценке [90].

Таблица 3 – Результаты определения микроэлементов в составе сырья

| Элемент | Содержание в пробах , г/т | | | | | | Содержание подлежащее количественной оценке, г/т |
|-----------|---------------------------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|--|
| | Горизонт +50 м | | Горизонт +100 м | | Горизонт +150 м | | |
| | аргиллит | алевролит | аргиллит | алевролит | аргиллит | алевролит | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Барий* | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 1000 |
| Бериллий | 20 | 8 | 20 | 8 | 20 | 8 | 50 |
| Бор | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | <10 | 200 |
| Ванадий* | 90 | 60 | 70 | 40 | 40 | 50 | 100 |
| Васмут | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 20 |
| Вольфрам | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 50 |
| Галлий | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | 20 |
| Германий | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | 3-10 |
| Золото | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3-10 |
| Иттрий | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | 3-10 |
| Иттербий | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | 3-10 |
| Индий | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3-10 |
| Кобальт | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 10 | 100 |
| Марганец* | 700 | 700 | 700 | 600 | 800 | 800 | 1000 |
| Медь | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 100 |
| Молибден | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | 100 |
| Мышьяк | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 300 |
| Никель* | 30 | 30 | 40 | 30 | 30 | 30 | 100 |
| Олово | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 50 |
| Платина | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | - |
| Ртуть | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 1-0.5 |
| Скандий | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 100 |
| Сурьма | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 300 |
| Стронций | 280 | 210 | 250 | 200 | 210 | 200 | 1000 |
| Свинец* | 15 | 17 | 16 | 18 | 17 | 18 | 100 |
| Тантал | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 1000 |
| Хром* | 40 | 20 | 20 | 30 | 30 | 20 | 100 |
| Цинк* | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

*- потенциально токсичные элементы

Оценка количества и состава водорастворимых показало, что вскрышные породы содержат низкое количество солей. Содержание солей небольшое, что исключает необходимость проведения специальных технологических мероприятий по их нейтрализации (см. таблица 4).

Таблица 4 – Изменение состава водной вытяжки вскрышных пород

| Наименование сырья | Cl ⁻ , % | HCO ₃ ⁻ , % | SO ₄ , % | Ca ⁺⁺ , % | Mg ⁺⁺ , % | K ⁺ , % | Na ⁺ , % |
|--------------------|---------------------|-----------------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
| Горизонт +50 м | | | | | | | |
| Аргиллит | 0,152 | 0,037 | 0,029 | 0,009 | 0,004 | 0,003 | 0,109 |
| Алевролит | 0,085 | 0,044 | 0,089 | 0,010 | 0,004 | 0,004 | 0,101 |
| Горизонт +100 м | | | | | | | |
| Аргиллит | 0,149 | 0,039 | 0,029 | 0,007 | 0,003 | 0,003 | 0,115 |
| Алевролит | 0,090 | 0,055 | 0,093 | 0,009 | 0,002 | 0,002 | 0,106 |
| Горизонт +150 | | | | | | | |
| Аргиллит | 0,155 | 0,039 | 0,070 | 0,008 | 0,003 | 0,005 | 0,132 |
| Алевролит | 0,089 | 0,049 | 0,090 | 0,010 | 0,005 | 0,010 | 0,089 |

Петрографические исследования вскрышных пород выявили преобладание в глинистой составляющей минералов каолинита и гидрослюд. Выявлены обломочные компоненты, такие как кварц и полевые шпаты, а также минералы железа и карбонатные включения (рисунок 7). Органическое вещество равномерно присутствовало во всех образцах, представляя собой вытянутые, неправильной формы стяжения. Количество включений органического вещества варьировало от 5 до 10 % в алевролитах и от 10 до 12 % в аргиллитах. В породах также наблюдались тонкие прожилки органического вещества.

Аргиллит горизонта +50 м имеет пелитовую структуру. Размер зерен составляет от 0,01 до 0,001 мм, форма зерен изометрическая, реже неправильно вытянутая, что характерно для органических остатков. Текстура аргиллита тонкополосчатая, обусловленная изменением концентрации карбонатных зерен и ориентировкой удлиненных частиц органического вещества.

В исследованной породе кальцит проявляется в виде бесцветных изометричных зерен размером от 0,003 до 0,008 мм, обладающих высоким двупреломлением. Кроме того, отмечается незначительное присутствие бесцветного вулканического стекла с отрицательным рельефом. Также наблюдается бесцветный кварц с низким положительным рельефом и двулучепреломлением, различимый по серым интерференционным цветам.

Глинистая составляющая каолинитового, реже гидрослюдисто-каолинитового состава, зерна каолинита имеют размеры до 0,005 мм.

Алевролит горизонта +50 м имеет алевролитовую структуру с размером зерен от 0,1 до 0,005 мм с преобладанием зерен размером 0,07-0,01 мм. Зерна плохо окатаны и сортированы. В породе отмечается кварц, сильно корродированный с прямым погасанием. Зерна полевого шпата сильно изменены, многие полностью превращены в гидрослюды с сохранением

первичной формы полевошпатовых зерен. Слюды представлены вытянутыми, хорошо оформленными зернами с прямым погасанием и яркими зеленовато-голубыми интерференционными окрасками. Наблюдается органическое вещество в виде вытянутых стяжений неправильной формы буровато-коричневой окраски. Глинистая часть алевролита представлена минералами гидрослюды и каолинита.

Аргиллит горизонта +100 м имеет пелитовую структуру с размером зерен менее 0,005 мм, встречаются редкие зерна кварца размером до 0,05 мм. Тонкополосчатая структура породы обусловлена полосчатой послойной бурой окраской. В породе наблюдаются частицы гидрослюды размером до 0,005 мм с низким положительным рельефом красно-желтой интерференционной окраской. Форма зерен гидрослюды изометрическая, либо слабо вытянутая.

Структура алевролита +100 м алевролитовая, с размером зерен от 0,1 до 0,01 мм. Преобладают зерна размером 0,05-0,01 мм. Текстура полосчатая за счет ориентировки органических веществ. Имеются сильно измененные зерна полевых шпатов и плагиоклазов, многие зерна полностью замещены слюдой и иногда даже каолинитом с сохранением первичной формы зерен. В небольшом количестве присутствуют карбонаты микрозернистого строения. В виде стяжений сильно вытянутой неправильной формы отмечается органическое вещество.

Аргиллит горизонта +150 м имеет пелитовую структуру с размером зерен 0,005-0,001 мм и тонкослоистую текстуру. Отмечается гидрослюда в виде изометрических зерен размером до 0,003 мм с невысоким положительным рельефом и красно-желтым, реже зеленовато-синими окрасками интерференции. Каолинит представлен в виде изометрических зерен размером до 0,005 мм, бесцветный с низким положительным рельефом. Наблюдается органическое вещество как непрозрачные, черные, вытянутые частицы размером до 0,01 мм. Алевролит горизонта +150 м имеет алевролитовую структуру из зерен размером от 0,05 до 0,1 мм и слоистую текстуру. Представлен сильно корродированным кварцем, зернами полевого шпата и плагиоклазов, которые сильно изменены до полного замещения на гидрослюду. Отдельные частицы и агрегаты гидрослюды идентичны полевому шпату. В алевролитах органическое вещество имеет коричневатобурый цвет, образуя вытянутые структуры.

Отдельные участки микроструктуры вскрышных пород были изучены с помощью сканирующей электронной микроскопии (рисунок 8). Аргиллиты демонстрируют однородную микротекстуру с более крупными агрегированными напластованиями неправильной формы, преимущественно размером 20-50 мкм [91-93].

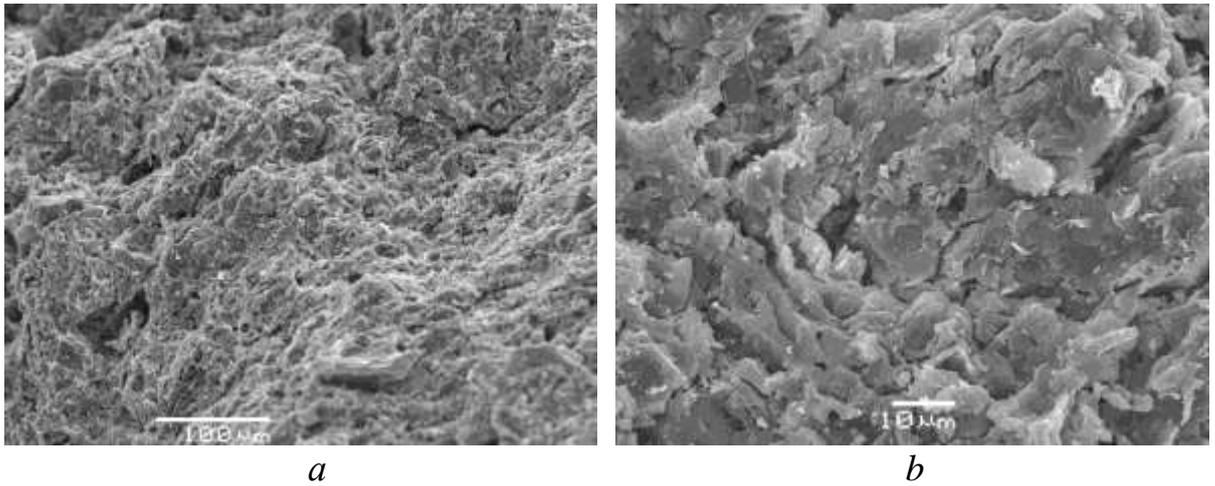


Рисунок 8 - Структуры аргиллита горизонта +100 м, увеличение: *a* -150×; *b* - 750×, электронная микроскопия

В дополнение к рентгенограммам были изучены инфракрасные спектры поглощения аргиллитов и алевролитов вскрышных пород (рисунок 9). Материал имеет максимальные пики поглощения 470, 545, 1090, 1170 см^{-1} , характерные для гематита. Для кварца характерны максимумы 770, 790 см^{-1} . Пики поглощения (605, 1090 см^{-1}) обнаруживают присутствие муллита.

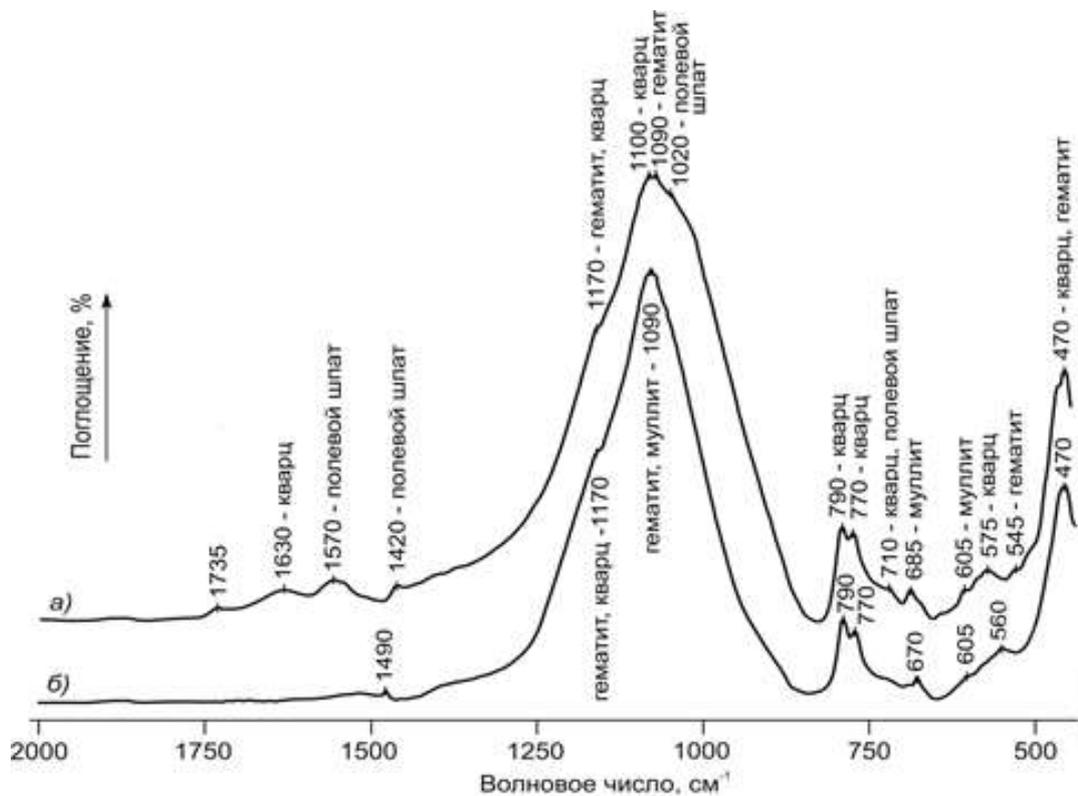


Рисунок 9 – Инфракрасные спектры поглощения аргиллита +100 м (*a*) и алевролита +100 м (*б*) обожженных при 1000 °С

2.3 Исследование изменения состава и свойств вскрышных пород от литологического типа и горизонта залегания

На качественные характеристики керамических изделий влияют химический и минералогический состав, а также физико-механические свойства сырья [94-97].

К основным физико-механическим характеристикам вскрышных пород относятся плотность, естественная влажность, прочность на сжатие и пористость (см. табл. 5).

Анализ данных по плотности выявил тенденцию ее уменьшения от горизонта +50 м до +150 м. Плотность алевролитов на 7-10 % выше, чем аргиллитов, и составляет 2,6 г/см³ для алевролитов и 2,3-2,7 г/см³ для аргиллитов.

Естественная влажность варьирует в пределах 4,8-5,8 % для аргиллитов и 4,3-4,7 % для алевролитов, увеличиваясь по мере изменения горизонта от +50 до +150 м.

Прочность на сжатие вскрышных пород изменяется в пределах 34,7-37,4 МПа для аргиллитов и 45,0-48,9 МПа для алевролитов. По мере изменения горизонта от +50 до +150 м прочность на сжатие как алевролитов, так и аргиллитов уменьшается.

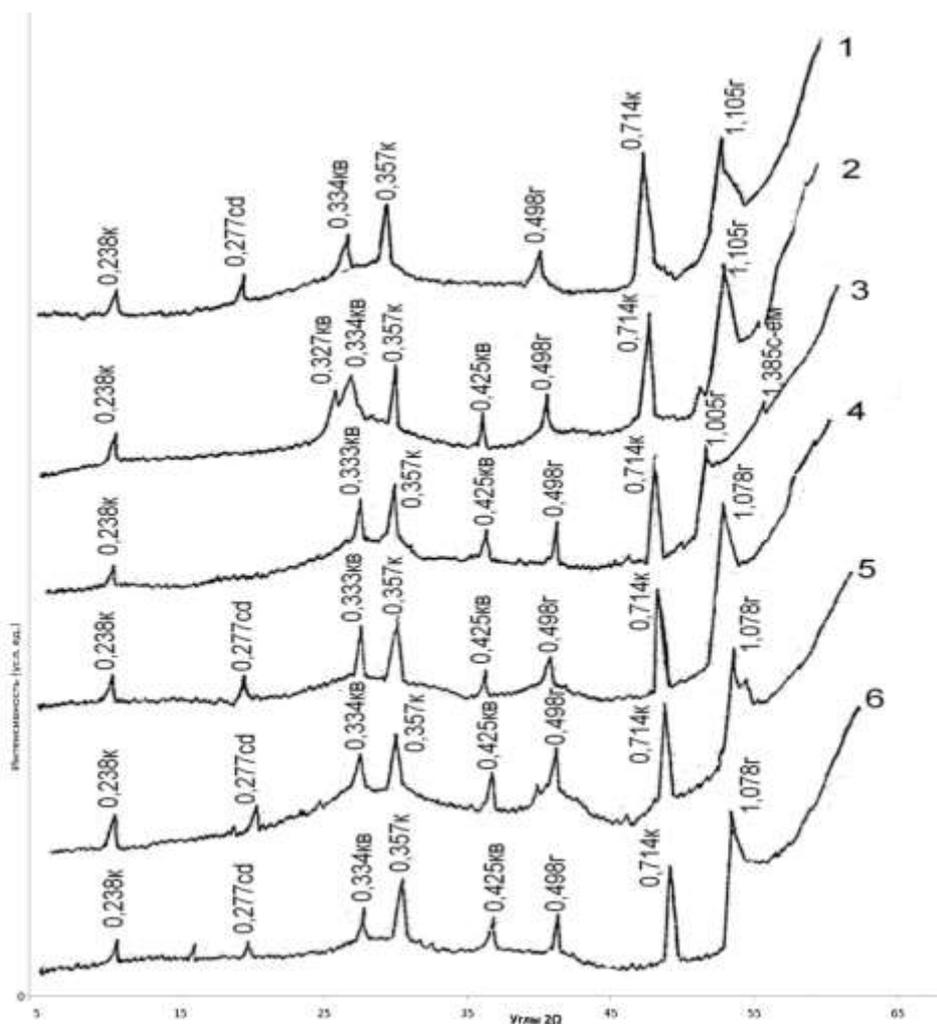
Измерения пористости показали значения 12,9-18,7 % для аргиллитов и 10,8-19,1 % для алевролитов, увеличивающиеся с горизонтом залегания от +50 до +150 м.

Таблица 5 – Физико-механические свойства вскрышных пород

| Наименование сырья | Естественная влажность, % | Плотность, г/см ³ | Пористость, % | Прочность при сжатии, МПа |
|--------------------|---------------------------|------------------------------|---------------|---------------------------|
| Горизонт +50 | | | | |
| аргиллит | 5,1 | 2,4 | 12,9 | 37,4 |
| алевролит | 4,3 | 2,7 | 10,6 | 48,9 |
| Горизонт +100 | | | | |
| аргиллит | 4,9 | 2,4 | 14,9 | 34,9 |
| алевролит | 4,3 | 1,5 | 15,9 | 47,0 |
| Горизонт +150 | | | | |
| аргиллит | 5,8 | 2,2 | 18,7 | 34,7 |
| алевролит | 4,7 | 2,3 | 19,1 | 45,0 |

Поэтому по мере изменения залегания вскрышных пород от горизонта +50 м к +150 м наблюдается снижение показателей физико-механических свойств. Это снижение можно объяснить уменьшением уплотнения породы и усилением выветривания, особенно заметным на горизонте +150 м [98].

Проводя анализ рентгенограмм вскрышных пород, мы отмечаем присутствие каолинита, гидрослюды, минералов смешанного слоя, сидерита, кварца и полевых шпатов (см. рис. 10-12).

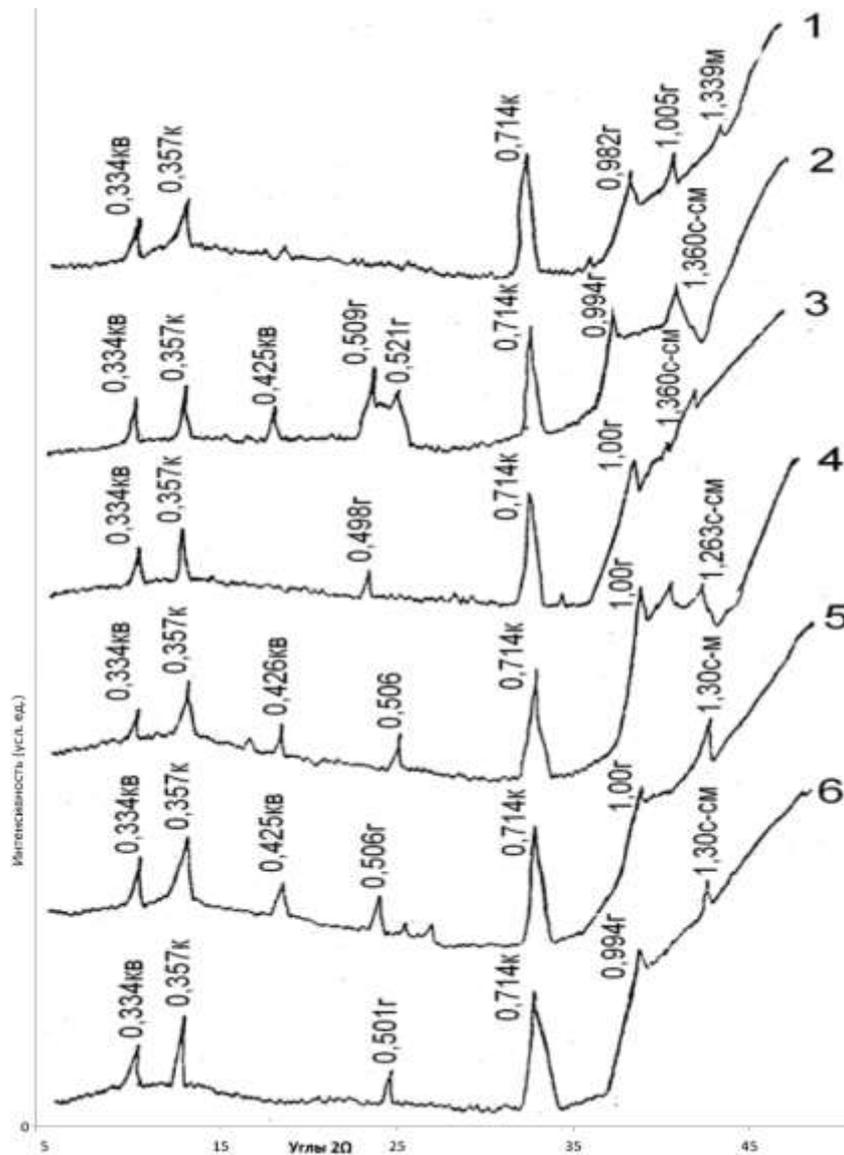


1 – алевролит горизонта +50 м; 2 – алевролит горизонта +100 м; 3 – алевролит горизонта +150 м; 4 – аргиллит горизонта +50 м; 5 – аргиллит горизонта +100 м; 6 – аргиллит горизонта +150; Условные обозначения: кварц – кв, каолинит – к, гидрослюда – г, слюда-сметтит – с-см; сидерит – сд, слюда-хлорит – с-х

Рисунок 10 - Дифрактограммы исходных образцов вскрышных пород угледобычи

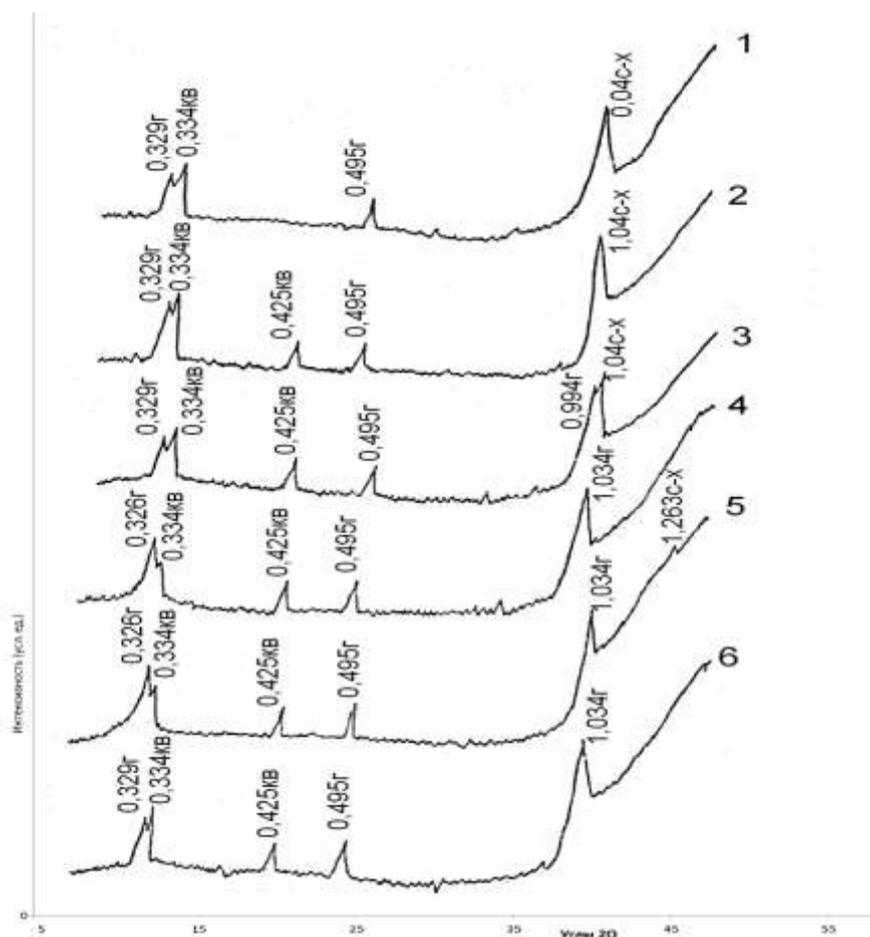
Для аргиллитов о наличии фазы каолинита свидетельствуют пики 0,238; 0,357; 0,714 нм, количественное содержание каолинита составляет 15-25%. Пики 0,331; 0,486; 0,505; 1,00 и 1,078 говорят о наличии гидрослюда, количественное содержание которой составляет 20-25%. В аргиллитах присутствует смешаннослойный, неупорядоченный минерал слюда-сметтит в количестве 10-13% с соотношением пакетов слюды и сметтита соответственно 70 и 30%. Для кварца характерны интенсивности 0,333; 0,334; 0,425 нм, для сидерита 0,277; 0,281 нм. На прокаленном образце аргиллита +100 м наблюдается смешаннослойный минерал слюда-хлорит ($d/n = 1,263$ нм) в количестве 5% с соотношением пакетов слюды и хлорита 90 и 10% соответственно, а в насыщенном эти-

лен-гликолем образце аргиллита +150 м отмечается монтмориллонит ($d/n = 1,339$ нм) в незначительном количестве.



1 – алевролит горизонта + 50 м; 2 – алевролит горизонта +100 м; 3 – алевролит горизонта +150 м; 4- аргиллит горизонта +50 м; 5 – аргиллит горизонта +100 м; 6 – аргиллит горизонта +150 м;

Рисунок 11 - Дифрактограммы образцов вскрышных пород угледобычи насыщенных этилен-гликолем



1 – алевролит горизонта + 50 м; 2 – алевролит горизонта +100 м; 3 – алевролит горизонта +150 м; 4- аргиллит горизонта +50 м; 5 – аргиллит горизонта +100 м; 6 – аргиллит горизонта +150 м;

Рисунок 12 - Дифрактограммы образцов вскрышных пород угледобычи прокаленных при 550 °С.

Для алевролитов характерно присутствие каолинита ($d/n = 0,238; 0,357; 0,714$ нм) в количестве 10-15%, сильно гидратированную триоктаэдрическую гидрослюда характеризуют линии 0,327; 0,329; 0,498; 1,105 нм и составляет 15-25 %. Кроме того, наблюдается смешаннослойный минерал слюда-сметтит ($d/n = 1,360$ нм), составляющий 5-15%, с межслоевым составом слюды и сметтита в соотношении 50:50. Наблюдается рефлекс 1,040 нм, характерный для слюды хлорита в количестве 5%. На прокаленных образцах исчезают линии каолинита, что свидетельствует о его дегидратации. Рефлексы кварца ($d/n = 0,333; 0,334; 0,425$ нм) отмечаются на всех исследуемых образцах. Наличие сидерита подтверждает рефлекс 0,278 нм.

Можно констатировать, что при изменении глубины залегания вскрышных пород угледобычи от +50 до +150 м уменьшается количество глинистых минералов от 45-50 до 35% для аргиллитов и от 35 до 25% для алевролитов. При этом увеличивается содержание кварца, сидерита и полевых шпатов от 35 до

50% для аргиллитов и от 50 до 70% у алевролитов, а также уменьшается содержание органического вещества от 15 до 10% для аргиллитов и от 15 до 5% у алевролитов (таблица 5).

Наблюдаемые тенденции в изменении минералогического состава вскрышных пород в диапазоне от +50 до +150 м от поверхности земли можно объяснить уменьшением уплотнения и, как следствие, усилением выветривания глинистых минералов при переходе к этим горизонтам.

Анализируя дифференциально-термические кривые вскрышных пород горизонтов от +50 до +150 м можно выделить характерные термические эффекты:

- первый эндотермический эффект, наблюдаемый при температурах 145-180°C, означает высвобождение гигроскопической и межслоевой молекулярной воды из глинистых минералов, относящихся к группам гидрослюды и монтмориллонита.

- первый экзотермический эффект, возникающий при температурах 400-480°C, соответствует началу горения органического вещества, причем более выраженное горение наблюдается в образцах аргиллита из горизонтов +50 м и +100 м.

- второй эндоэффект при 580-600° С указывает на дегидратацию каолинита и образование метакаолинита, а также удаление конституционной воды и частичной перестройкой структуры гидрослюды;

- второй экзоэффект при 650-780° С связан с разложением органического вещества и окислением продуктов термической диссоциации сидерита и смешаннослойных минералов;

- третий эндоэффект: 840-970° С, говорит об удалении последней гидроксильной воды оставшейся в структуре и полном разрушении гидрослюды, а также о разрушении оставшейся части конституционной воды и структурной перестройке монтмориллонита, приводящей к возникновению новых фаз;

- третий экзоэффект при температуре 980-1080° С – на перекристаллизацию аморфных продуктов разрушения гидрослюды и начало образования новых кристаллических фаз муллита и шпинели (рисунок 11).

Алевролиты демонстрируют сходные с аргиллитами термические реакции, хотя и с менее активным началом горения и разложения органического вещества, происходящего в диапазоне температур 400-480°C и 650-890°C. (рисунок 13).

Качественный состав аргиллитов по данным дифференциально-термического анализа представлен гидрослюдой и каолинитом (40-50%), кварцем до 30%, смешаннослойными минералами и органическим веществом.

Для алевролитов характерно преобладание гидрослюды и кварца (20-50%), группы смешаннослойных минералов и незначительным содержанием монтмориллонита и органического вещества [99,100].

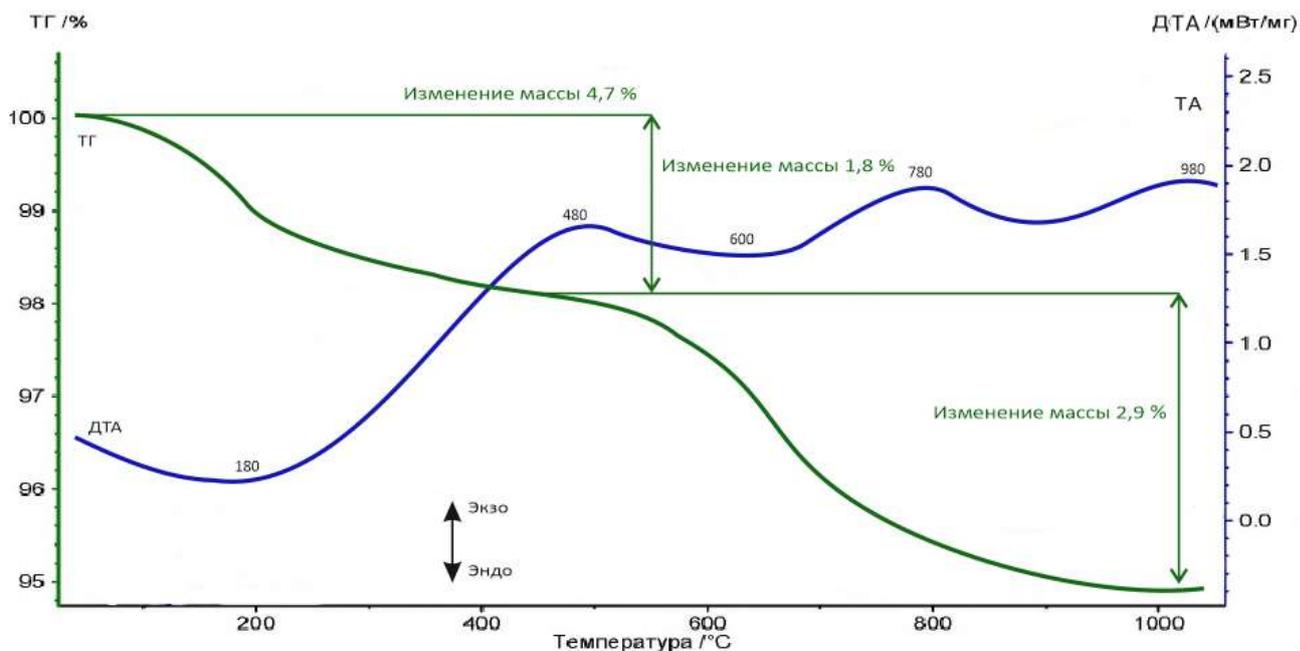


Рисунок 13 - Термограммы аргиллита, горизонт +100 м

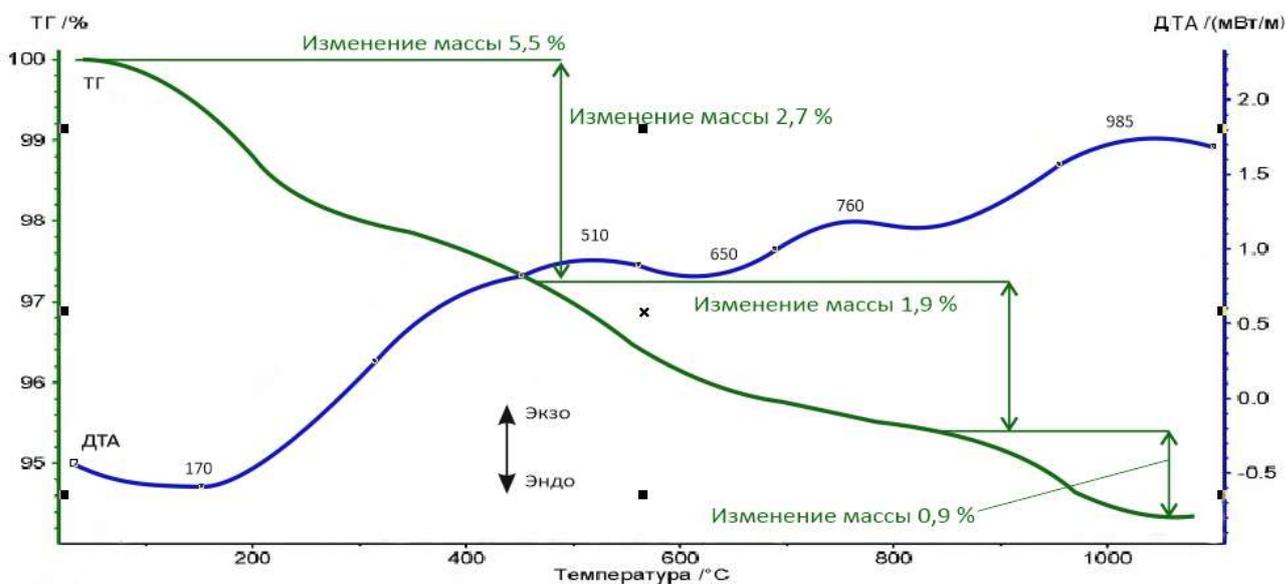


Рисунок 14 - Термограммы алевролита, горизонт +100 м

Минералогический состав исследованных вскрышных пород в зависимости от литологии и горизонта залегания представлен в таблице 6.

Таблица 6 – Минералогический состав вскрышных пород

| Наименование сырья | Содержание минералов, % | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------|------------|--------------|-------|-----------|-------|---------|-----------------------|
| | глинистые минералы | | полевой шпат | кварц | карбонаты | слоды | сидерит | органическое вещество |
| | каолинит | гидрослюда | | | | | | |
| Горизонт +50 м | | | | | | | | |
| Аргиллит | 25-30 | 20 | 8-12 | 25 | - | - | - | 15 |
| Алевролит | 5-10 | 25 | 20-25 | 30 | 3-5 | 5 | - | 10 |
| Горизонт +100 м | | | | | | | | |
| Аргиллит | 25 | 20 | - | 30 | - | - | 5 | 12 |
| Алевролит | 5-7 | 20 | 25 | 40 | 3-5 | 5 | - | 8 |
| Горизонт +150 м | | | | | | | | |
| Аргиллит | 15 | 20 | 10 | 40 | - | - | - | 10 |
| Алевролит | 3-5 | 20 | 15-20 | 50 | 5 | - | - | 5 |
| Калкаманская глина | 15 | 20 | 30 | 20 | 5 | 5 | - | 5 |

По составу глинистых минералов вскрышные породы относятся к каолинит-гидрослюдистому типу сырья. Кроме глинистых минералов, в анализируемых образцах присутствуют примеси кварца, полевого шпата, смешаннослойных минералов и органического вещества. [101,102].

2.4 Характеристика применяемых добавок

В качестве добавок исследовались высокоминерализованные углистые породы, калкаманская глина и оксихлорид алюминия (отход химического производства ТОО «Каустик»).

Высокоминерализованные углистые породы перекрывают первый угольный пласт, состоят из углистых и слабоуглистых сланцев, содержат смолистые и битумные вещества. Технические характеристики этих пород в процентном соотношении представлены следующим образом: смолы и битумы (5-9%); вода (7-8%); генераторный газ (48,6%); газовая влага (0,5-0,7%); зола (35-38%).

Элементный состав смолистых и битумных веществ указан в процентном содержании: углерод (82-85%); водород (8-12%); сера (1,5-2,0%); азот (0,5-9,7%); кислород (2,5-2,8%).

Смолистые и битуминозные вещества в высокоминерализованных углеродистых породах содержат в процентном отношении: парафины (24-24,5%); олефины (12-13,5%); ароматические углеводороды (37,5-29,0%); нейтральные гетероатомные соединения (15,0-18,0%); фенолы и карбоновые кислоты (5,0-5,5%).

Химический состав минеральной части золы представлен следующими оксидами, в процентном содержании: SiO₂ – 72-75; Al₂O₃ – 20-21; Fe₂O₃ – 1,4-1,7; TiO₂ – 1,2-1,4; CaO 0,2-0,3; MgO – 0,3-0,5; Na₂O – 0,25-0,40; K₂O – 2,0-2,2; P₂O₅ – 0,1-0,14; п.п.п – 0,2-0,4.

По данным петрографических исследований на растровом электронном микроскопе структура высокоминерализованных углистых пород очень беспорядочная, в общей, по-видимому глинистой, массе часто встречаются крупные обломки угловатой и округлой формы размером 30-40 мкм. Угловатые обломки – это, очевидно, крупные листоватые глинистые частицы. Объекты округлой формы имеют стоеие типа «кочана капусты» и располагаются в «гнездах», границы которых иногда хорошо видны, а иногда перекрываются глинистыми частицами. В общей массе изредка встречаются сульфазные минералы типа пирита и марказита (рисунок 15).



Рисунок 15– Электронно-микроскопические фотографии высокоминерализованных углистых пород. Рабочие увеличения 600-1800^x: 1 – угловатые обломки; 2 – объекты округлой формы; 3 – пирит; 4 – марказит.

По результатам дифрактометрического анализа фракций менее 0,05 мм и менее 0,005 мм в породах наблюдается кварц (34 %), каолинит (52 %), смешаннослойные упорядоченные минералы типа слюда-сметит (ректорит) с чередованием пакетов 1:1 (10 %) и слюда-хлорит (4 %) (рисунок 16).

Калкаманская глина по содержанию тонкодисперсных фракций относится к дисперсным с содержанием глинистой фракции 67 %, пылевидной 24% и песчанной 19%. По числу пластичности к среднепластичным глинам. По содержанию $Al_2O_3+TiO_2$ к полуокислым, монтмориоллонитовым глинам.

Оксихлорид алюминия, высокоосновной коагулянт, получают путем растворения в воде осадка производства безводного хлорида алюминия. Затем этот раствор нейтрализуют соляной кислотой, образующейся при гидролизе последней при взаимодействии с металлическим алюминием. Состав оксихлорида алюминия следующий:



где $x = 0,5; 1,0; 1,5; n = 2$

плотность оксихлорида алюминия составляет 1,22-1,24 г/см³.

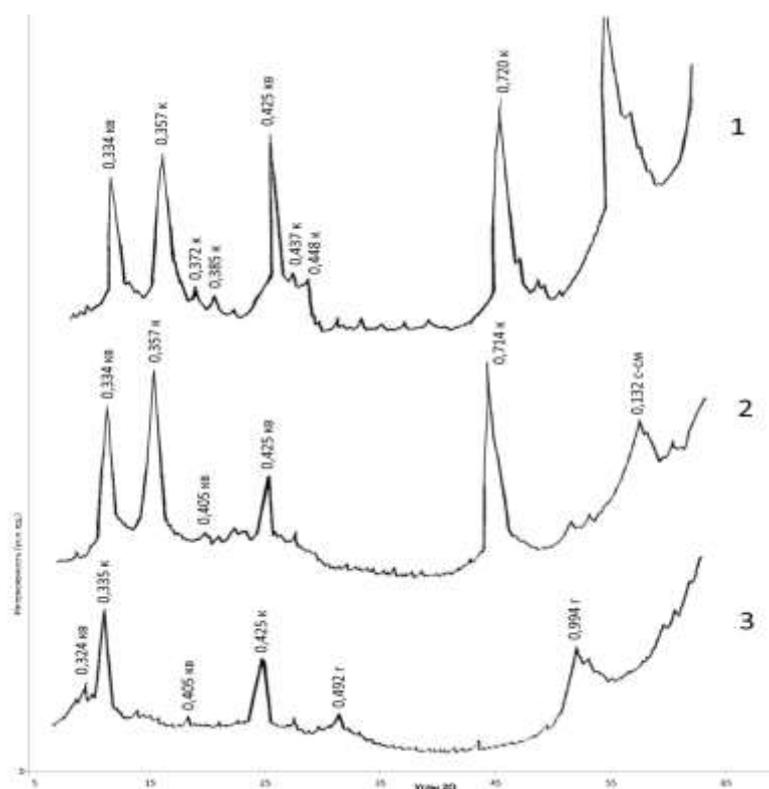


Рисунок – 16 Рентгенограммы высокоминерализованных углистых пород: 1 – исходный образец; 2 – образец, насыщенный этилен-гликолем; 3 – образец, прокаленный при 550°C.

Химический состав добавок приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Химический состав добавок

| Наименование сырья | Оксиды, % | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------------------|------|------|-------------------|------------------|-----------------|------|--------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ +FeO | Mg O | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | SO ₃ | C | п.п.п. |
| Углистый сланец | 47,76 | 18,15 | 0,62 | 5,44 | 0,77 | 1,34 | 1,57 | 1,84 | 0,33 | 40,0 | 23,74 |
| Алюминий-содержащие отходы | 44,4 | 51,4 | 0,6 | 0,86 | 0,2 | 0,88 | 0,07 | 0,76 | - | - | 0,82 |
| Глина Калкаманская | 60,23 | 18,73 | 1,02 | 6,37 | 1,10 | 1,28 | 0,20 | 0,80 | 0,12 | - | 9,73 |

Установлено, что углистые сланцы являются высокоминерализованными углистыми породами с содержанием органического углерода до 40%.

Отход химического производства: оксихлорид алюминия - это коагулянт, получаемый путем растворения осадка производства безводного хлорида алюминия в воде, впоследствии нейтрализованного соляной кислотой. Калкаманская глина относится к 106 7 16 14 47 дисперсным, среднепластичным, полукислым, монтмориоллонитовым глинам.

2.5 Методы исследований сырьевых материалов

В работе использовались стандартные методы физико-механических испытаний и прецизионные методы исследований: рентгеновская порошковая дифрактометрия, инфракрасная спектроскопия поглощения, сканирующая электронная микроскопия, кварцевая дилатометрия и др. [103-108].

Исследования проводились в лабораториях кафедры «Строительные материалы и технологии» НАО «Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова» г. Караганда, кафедры «Инженерные конструкции, строительные технологии и материалы» Сибирского Государственного Индустриального Университета г. Новокузнецк, в лабораториях факультета архитектуры и строительства НАО «Торайгыров университет» г.Павлодар.

В работе использован комплекс современных методов исследований. Радиоактивная безопасность изучаемого сырья исследовалась на сцинтилляционном спектрометре методом определения энергии испускаемого γ -излучения, сопровождающего распад ядер, по фотопикам энергетического спектра. Проведен количественный спектральный анализ проб для выявления редкоземельных, токсичных и потенциально-токсичных элементов. Исследования проводили на спектрометре ИСП-30.151 с использованием атомно-эмиссионного метода. Расшифровке подвергались все полученные спектры. Оценка содержания элементов производилась по аналитическим линиям различной чувствительности.

Физико-механические свойства вскрышных пород угледобычи определяли: плотность и прочность по ГОСТ РК 1039-2001, ГОСТ 32047-2012 влажность и пористость по ГОСТ 11014-81, ГОСТ 2409-95.

Химический состав определяли по существующим методикам согласно ГОСТ 33130-2014 на рентгеновском многоканальном спектрометре «Симультикс-6» японской фирмы «RIGACU DENKI».

Содержание водорастворимых солей определяли по ГОСТ 21216-2014. Сырье глинистое. Методы испытаний.

Петрографические исследования проводили на микроскопе Польми-А с использованием полупрозрачных шлифов, изготовление которых осуществляли в соответствии с общепринятыми методиками, а также на растровом электронном микроскопе РЭМ-100У при ускоряющем напряжении 30 кВ. Рабочие увеличения при исследовании препарированных образцов составляли 1000-5200*.

Фазово-минералогический состав вскрышных пород исследовался на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.0, начиная с предварительного сканирования дезориентированного воздушно-сухого образца. Область съемки $2\theta = 3-60^\circ$: съемка ориентированного образца $2\theta = 3-30^\circ$; съемка ориентированного образца при насыщении этилен-гликолем с целью диагностики набухающей фазы $2\theta = 3-30^\circ$; съемка ориентированного образца прокаленного при $t = 550-600^\circ\text{C}$ в течение одного часа с целью разрешения фаз хлорита и каолинита. Область съемки $2\theta = 3-30^\circ$; съемка ориентированного образца с внутренним эталоном с целью проведения полуколичественного анализа $2\theta = 3-30^\circ$. Препараты готовили по ме-

тоту «текстурированных образцов» путем нанесения суспензии фракции менее 0,005 мм на стекла диаметром 16 мм. По справочникам расшифровки рентгенограмм определяли межплоскостные расстояния.

Для определения вещественного состава минеральной части вскрышных пород угледобычи был проведен дифференциальный термический анализ (ДТА) на приборе "Derivatograph Q-1500D". Что позволило выявить термические эффекты, продемонстрировав химические и физические изменения, происходящие в материалах при нагревании до 1000°C.

Технологические свойства вскрышных пород угледобычи определяли по общепринятым методикам для глинистых материалов и ГОСТ 21216.1 – 21216.5-81, ГОСТ 21216.9 – 21216.11281 с учетом того, что вскрышные породы содержат органические вещества.

Для исследования характеристик образцов в процессе сушки вскрышных пород оптимального фракционного состава были подготовлены партии со стандартным уровнем влажности при формовании. Образцы формовались диаметром 50 мм и толщиной 10 мм. Процесс сушки проходил сначала в естественных условиях при комнатной температуре в течение 30-32 часов, затем проводилась дополнительная сушка в сушильном шкафу при температуре 105-110°C до достижения постоянной массы.

Определение характеристик плавкости образцов из отходов угледобычи проводили на нагревательном микроскопе МНО-2 с фиксированием температур, соответствующих определенным стадиям деформации образцов при обжиге и их деформационные параметры.

Структура обожженных материалов изучалась с использованием дифрактометрического, электронно-микроскопического и дифференциально-термического методов анализа по общепринятым методикам.

Процесс выгорания органических веществ при обжиге исследовали методом изучения кинетики удаления органического вещества на термогравиметрической установке конструкции А.В. Шлыкова.

Газопроницаемость образцов определяли по ГОСТ 11573-98, плотность, пористость и водопоглощение образцов по ГОСТ 2409-95.

Физико-механические показатели керамических изделий: прочность на излом, водонепроницаемость, водопоглощение и др., оценивались по общепринятым методикам в соответствии с ГОСТ 530-2012.

Долговечность обожженных изделий оценивали по величине изменения прочности материала в условиях водопоглощения и попеременного замораживания и оттаивания. Кроме того, определялась степень сгорания углерода и фазообразования в обожженных изделиях.

С помощью методов математического планирования и статистического анализа данных были выявлены взаимосвязи между физико-механическими свойствами керамических образцов, составом сырья и технологическими параметрами. Обработка результатов экспериментов производилась с использованием специальных программ – Microsoft Excel, Approxim, MatCAD др.

По существующим методикам производился расчет экономической эффективности использования вскрышных пород угледобычи в производстве керамического кирпича.

2.6 Результаты исследования состава и свойств отходов угледобычи

Изучение состава и свойств отходов угледобычи как потенциального сырья для производства керамических изделий позволило сделать несколько выводов:

- аргиллиты и алевролиты с горизонтов +50, +100 и +150 м отличаются заметной однородностью физико-механических свойств, причем алевролиты демонстрируют более высокие показатели. Примечательно, что алевролиты проявляют повышенные физико-механические свойства по мере смещения горизонта залегания от +50 до +150 метров. Кроме того, при переходе горизонта залегания пород от +50 до +150 метров наблюдается снижение физико-механических свойств, что объясняется уменьшением уплотнения пород и усилением выветривания на горизонте +150 метров.

- в соответствии с нормами радиационной безопасности эти породы могут быть использованы без ограничений в различных областях применения строительных материалов. Кроме того, содержание экологически опасных элементов во вскрышных породах ниже предельно допустимого порога, что свидетельствует об их отнесении к экологически безопасному сырью.

- по химическому составу минеральной части и наличию водорастворимых солей породы характеризуются высокой степенью однородности и относятся к полукислым, с низким и умеренным содержанием оксидов красителей среди сырья.

- петрографическими исследованиями и дифрактометрическим анализом установлено, что породы относятся к категории каолинит-гидрослюдистого сырья, характеризующегося наличием кварца, полевых шпатов, железистых минералов, карбонатов и органических веществ. Замечено, что по мере смещения горизонта залегания этих пород от +50 до +150 метров происходит уменьшение количества глинистых минералов, снижаясь с 45-50% до 35% для аргиллитов и с 35-25% до 25% для алевролитов. Напротив, доля кварца, сидерита и полевых шпатов увеличивается с 33-37% до 50% для аргиллитов и с 50-55% до 65-70% для алевролитов. Кроме того, наблюдается снижение содержания органического вещества по мере смещения горизонта от 50 м до +150 м, уменьшаясь с 15 % до 10 % для аргиллитов и с 10 % до 5 % для алевролитов.

- физико-механические характеристики отходов угледобычи уменьшаются по мере продвижения от горизонта +50 м до +150 м, что объясняется снижением степени уплотнения и усилением выветривания.

Выводы

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что отходы угледобычи имеют сходство по физико-механическим свойствам, а также химическо-

му и минеральному составу с обычным глинистым сырьем. При соответствующей технологической подготовке они могут быть использованы для производства керамических изделий.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ КОАГУЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ МАСС ИЗ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД УГЛЕДОБЫЧИ ПРИ ФОРМОВАНИИ

Формование и предварительная подготовка сырьевой массы являются наиболее важными технологическими операциями в производстве керамического кирпича во время которых образуется коагуляционная структура изделий, характеризующаяся определенными структурно-механическими и технологическими свойствами, от которых зависит качество готовых изделий.

3.1 Влияние степени измельчения вскрышных пород на их технологические свойства

Вскрышные породы по гранулометрическому составу являются среднedisперсным сырьем, так как в аргиллитах среднedisперсная фракция составляет 45,5-53,2%, а в алевролитах – 27,0-35,2% и преобладает над другими факторами. Результаты исследований по гранулометрическому составу и запесоченности глинистых пород (ГОСТ 21216.12-93) представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Гранулометрический состав вскрышных пород

| Наименование сырья | Содержание фракций, % | | | Разновидность сырья по диаграмме Охотина |
|--------------------|------------------------|----------------------------|------------------------------|--|
| | Тонко-дисперсной 5 мкм | Средне-дисперсной 5-50 мкм | Грубо-дисперсной 50-1000 мкм | |
| Горизонт +50 м | | | | |
| Аргиллит | 29,8 | 53,2 | 17,0 | Глина пылеватая |
| Алевролит | 21,6 | 35,2 | 43,3 | Суглинок пылеватый |
| Горизонт +100 м | | | | |
| Аргиллит | 20,4 | 49,6 | 30,0 | Глина пылеватая |
| Алевролит | 18,1 | 31,6 | 50,3 | Суглинок пылеватый |
| Горизонт +150 м | | | | |
| Аргиллит | 14,3 | 45,5 | 41,2 | Глина пылеватая |
| Алевролит | 12,5 | 27,0 | 60,5 | Суглинок пылеватый |

Анализируя гранулометрический состав вскрышных пород по признаку «литологический тип», следует отметить, что в аргиллитах содержание глинистых частиц на 2-8% больше, чем в алевролитах, а в алевролитах преобладает песчаная реакция, содержание которой на 19-26% выше, чем в аргиллитах.

Преобладание в аргиллитах средне- и грубодисперсных фракций позволяет классифицировать их как глины пылеватые, а алевролиты – как суглинки пыле-

ватые, поскольку количественное содержание в них фракций от 5 до 1000 мкм составляет 78,5-87,5% (рисунок 17).

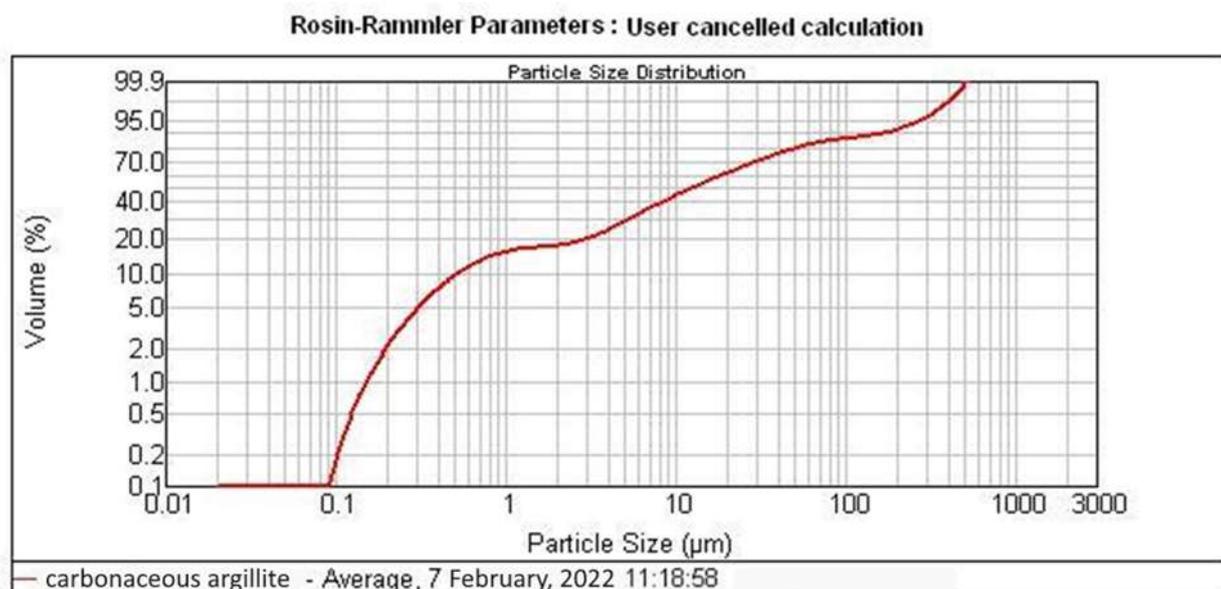


Рисунок 17 – Дисперсный состав аргиллита горизонта +100 м

По изменению горизонта от +50 до +150 м от кровли угольного пласта, количественное содержание тонкодисперсной и среднедисперсной фракций для вскрышных пород уменьшается.

Вскрышные породы, в отличие от глин, используемых для производства керамического кирпича, неразмокаемы в воде, что не позволяет получать из них материалы с пластической подготовкой массы. В связи с этим необходимо предусматривать их дробление, измельчение и помол до фракций, при которых глинистые минералы пород приобретают способность к ионному обмену и проявляют пластические свойства.

Показатели формовочной влажности, пластичности и максимальной молекулярной влагоемкости, определяли при измельчения вскрышных пород до фракций менее 1; 0,5; 0,25; и 0,125 мм

Методом балансирного конуса Васильева (ГОСТ 21216-2014) исследована пластичность вскрышных пород, таблица 9.

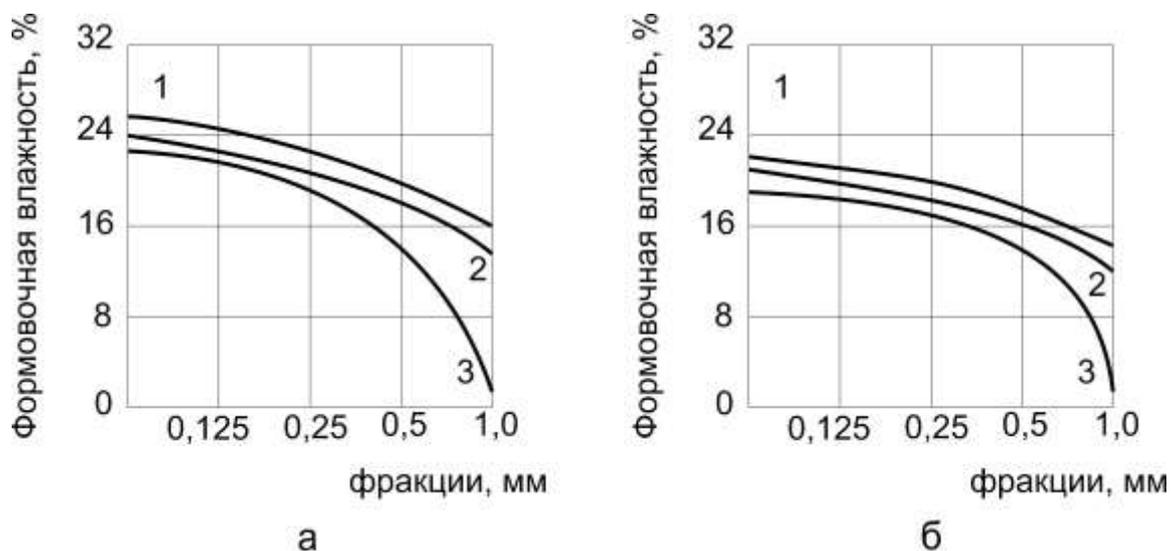
Установлено, что при измельчении до фракции менее 1 мм аргиллиты проявляют пластические свойства и имеют число пластичности от 3,12 до 8,7, алевролиты при фракции менее 0,5 мм - числом пластичности 3,05-7,93. Эти показатели по пластичности соответствуют мало- и умереннопластичному сырью по классификации ГОСТ 9169–75.

Таблица 9 – Свойства формовочных масс в зависимости от степени измельчения [109]

| Тип сырья | Фракции, мм | Предел текучести | Предел раскатывания | Число пластичности | Формовочная влажность $W_{ф(отн)}, \%$ | Молекулярная влагоёмкость, $W_m, \%$ |
|-----------------------------|-------------|------------------|---------------------|--------------------|--|--------------------------------------|
| Алевролит горизонт +50 м | 1,0-0,5 | - | - | - | - | - |
| | 0,5-0,25 | 19,05 | 16,00 | 3,05 | 16,52 | 9,72 |
| | 0,25-0,125 | 19,62 | 15,45 | 4,17 | 19,19 | 11,29 |
| | 0,125-0,063 | 22,40 | 16,88 | 5,52 | 20,76 | 12,21 |
| | менее 0,063 | 25,94 | 18,01 | 7,93 | 23,78 | 13,99 |
| Аргиллит горизонт +50 м | 1,0-0,5 | 16,96 | 13,84 | 3,12 | 16,21 | 8,95 |
| | 0,5-0,25 | 19,76 | 15,49 | 4,27 | 17,66 | 10,39 |
| | 0,25-0,125 | 21,36 | 15,88 | 5,48 | 19,97 | 11,75 |
| | 0,125-0,063 | 25,47 | 18,80 | 6,67 | 22,85 | 13,44 |
| | менее 0,063 | 28,70 | 20,00 | 8,70 | 26,84 | 15,20 |

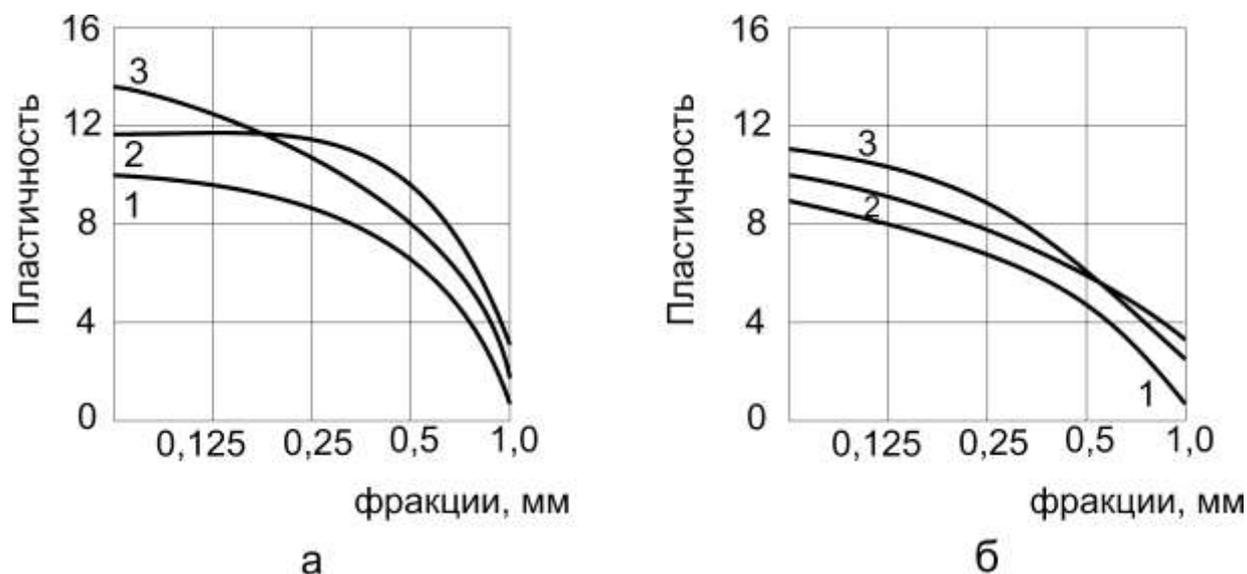
По результатам исследования: аргиллиты фракции менее 1-0,5 мм имеют низкие значения пластичности -3,05 для горизонта +50 м. Аргиллиты горизонта +50 м не обладают формовочными свойствами.

Кривые изменения формовочной влажности масс из аргиллитов и алевролитов в зависимости от степени измельчения представлены на рис. 18, 19.



1-горизонт +50 м; 2-горизонт +100; 3- горизонт +150.

Рисунок 18 - Формовочная влажность масс в зависимости от степени измельчения, аргиллитов (а) алевролитов (б)



1-горзонт +50 м; 2-горзонт +100; 3- горизонт +150.

Рисунок 19 - Пластичность масс в зависимости от степени измельчения из, аргиллитов (а) алевролитов (б)

Установлена закономерность в проявлении пластических свойств масс при измельчения пород до фракции 0,5-0,125 мм и менее: число пластичности у аргиллитов увеличивается от 7,03 до 12,50, у алевролитов от 6,15 до 9,05, что позволяет характеризовать их как умеренно пластичное сырье.

Значения формовочной влажности увеличиваются от 16,0 до 22,5 %. Показатели максимальной молекулярной влагоемкости от 9,1 до 12,7 % у аргиллитов и от 16,0 до 21,2 и от 8,8 до 12,4 % соответственно у алевролитов.

Можно сделать вывод, что при изменении глубины залегания пород в диапазоне от +50 до +150 м наблюдается снижение пластичности и влажностных характеристик масс. При этом пластичность и формовочная влажность аргиллитов немного выше, чем у алевролитов.

Эксперименты, проведенные в данном исследовании, демонстрируют, что способность масс из аргиллитов и алевролитов к пластическому формованию проявляется при их измельчении до фракций менее 0,5 мм. Согласно проведенной классификации, изучаемые породы обладают умеренной пластичностью и небольшой чувствительностью к сушке сырья.

3.2 Исследование зависимости изменения коагуляционной структуры масс из вскрышных пород от их фракционного состава

Согласно представлениям П.А. Ребиндера, процесс образования пластичной керамической массы является продолжением процесса набухания глинистых минералов в контакте с водой [36]. В результате расклинивающего действия воды от поверхности крупных частиц отделяются мелкие частицы размером

0,01-0,1 мкм, окруженные прослойками воды. Эти частицы образуют подвижные оболочки вокруг более крупных частиц и определяют основные свойства пластичной массы.

Пластичные массы должны деформироваться без нарушения сплошности и однородности и сохранять форму после снятия нагрузки. Предельной прочностью структуры, при которой происходит нарушение ее сплошности, является пластическая прочность.

На коническом пластометре, при постоянной скорости погружения конуса - 3 минуты и возрастающих нагрузках по схеме: 20, 70, 120, 170, 220, 270, 320 г проведены исследования зависимости между пластической прочностью и влажностью масс из вскрышных пород разного фракционного состава. Исследования имели целью выяснение характера зависимости между величиной пластической прочности и влагосодержанием масс из аргиллитов и алевролитов горизонтов +50, +100 и +150 м, измельченных до различных фракций.

Полученные результаты приведены в таблице 10, и свидетельствуют о том, что для масс из алевролитов и аргиллитов характерны значительные изменения пластической прочности от 1,10 до 0,28 МПа при влажности масс 14-16 %, что указывает на нестабильность процесса формования в приведенных интервалах влажности. В интервалах влажностей 16-22 % пластическая прочность изменяется более стабильно.

Согласно данным графиков, оптимальная формовочная влажность (ОФВ) масс определяется как точка, где достигается состояние структуры, когда гидратные оболочки полностью развиты. При этом отсутствует свободная и рыхлосвязанная вода в системе, и вся вода связана в гидратной оболочке глинистых частиц, не остаётся негидратированных частиц.

Таблица 10 - Значения пластической прочности масс из вскрышных пород

| Наименование сырья | Влажность масс, % | Значения пластической прочности P_m , МПа для фракций | | |
|--------------------|-------------------|---|---------------------|---------------------|
| | | 0,5-0,25 мм | 0,25-0,125 мм | 0,125-0,063 мм |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Горизонт +50 м | | | | |
| Аргиллит | 14 | 0,84 ОФВ=17,5% | 0,63 ОФВ=18% | 0,49 ОФВ=18,3% |
| | 16 | 0,52 | 0,4 | 0,3 |
| | 18 | 0,24 $P_m=0,26$ МПа | 0,15 $P_m=0,15$ Мпа | 0,13 $P_m=0,09$ МПа |
| | 20 | 0,17 | 0,1 | 0,06 |
| | 22 | 0,08 | 0,04 | 0,02 |
| Алевролит | 14 | 0,75 ОФВ=17,1% | 0,61 ОФВ=18,2% | 0,45 ОФВ=18,5% |
| | 16 | 0,47 | 0,38 | 0,28 |
| | 18 | 0,25 $P_m=0,28$ МПа | 0,13 $P_m=0,11$ Мпа | 0,1 $P_m=0,06$ МПа |
| | 20 | 0,18 | 0,08 | 0,03 |
| | 22 | 0,09 | 0,04 | 0,01 |
| Горизонт +100 м | | | | |
| Аргиллит | 14 | 0,98 ОФВ=17,5% | 0,61 ОФВ=18% | 0,64 ОФВ=18,8% |
| | 16 | 0,62 | 0,51 | 0,42 |
| | 18 | 0,31 $P_m=0,33$ МПа | 0,22 $P_m=0,22$ МПа | 0,21 $P_m=0,12$ МПа |
| | 20 | 0,25 | 0,2 | 0,1 |

| | | | | |
|-----------------|----|------------------|------------------|-----------------|
| | 22 | 0,2 | 0,06 | 0,09 |
| Алевролит | 14 | 0,96 ОФВ=17% | 0,78 ОФВ=17,7% | 0,54 ОФВ=18% |
| | 16 | 0,56 | 0,45 | 0,33 |
| | 18 | 0,26 Pm=0,3 МПа | 0,18 Pm=0,19 МПа | 0,1 Pm=0,1 МПа |
| | 20 | 0,20 | 0,12 | 0,08 |
| | 22 | 0,14 | 0,06 | 0,03 |
| Горизонт +150 м | | | | |
| Аргиллит | 14 | 0,1 ОФВ=16,6% | 0,96 ОФВ=17,3% | 0,75 ОФВ=18,2% |
| | 16 | 0,64 | 0,57 | 0,46 |
| | 18 | 0,42 Pm=0,48 МПа | 0,28 Pm=0,33 МПа | 0,2 Pm=0,16 МПа |
| | 20 | 0,33 | 0,19 | 0,1 |
| | 22 | 0,23 | 0,08 | 0,05 |
| Алевролит | 14 | 1,02 ОФВ=16,3% | 0,78 ОФВ=16,7% | 0,54 ОФВ=17% |
| | 16 | 0,6 | 0,45 | 0,33 |
| | 18 | 0,46 Pm=0,52 МПа | 0,18 Pm=0,2 МПа | 0,1 Pm=0,23 МПа |
| | 20 | 0,38 | 0,12 | 0,08 |
| | 22 | 0,3 | 0,06 | 0,03 |

Для масс из аргиллитов и алевролитов оптимальная формовочная влажность оказывается в диапазоне от 16,6% до 18,3% и от 16,3% до 18,5% соответственно. При глубине залегания +150 м наблюдаются более низкие значения оптимальной формовочной влажности и более высокие значения пластической прочности - в 2-2,5 раза. То есть коагуляционная структура масс упрочняется. При этом пластическая прочность масс из аргиллитов с ОФВ составляет от 0,09 до 0,48 МПа, а из алевролитов – от 0,06 до 0,52 МПа.

Анализируя закономерности изменения пластической прочности в зависимости от содержания глинистых минералов, можно заметить, что при уменьшении доли этих минералов с 35% до 25% в алевролитах (при переходе от глубины залегания +50 м до +150 м) и с 50% до 35% в аргиллитах при том же изменении глубины, оптимальная формовочная влажность масс из алевролитов фракции 0,5-0,25 мм снижается с 17,1% до 16,3%; для фракции 0,25-0,125 мм – с 18,2% до 16,7%; а для фракции 0,125-0,063 мм – с 18,5% до 17,0%. Для аргиллитов соответствующие изменения составляют: для фракции 0,5-0,25 мм – с 17,5% до 16,6%; для фракции 0,25-0,125 мм – с 18,0% до 17,3%; и для фракции 0,125-0,063 мм – с 18,8% до 18,2%.

Оценивая влияние фракционного состава масс на изменение пластической прочности (рисунки 20,21), можно отметить, что наилучшей формуемостью обладают массы фракции 0,25-0,125 мм. Для масс фракционного состава 0,5-0,25 мм отмечена тенденция удовлетворительной воспроизводимости результатов, а массы из пород измельченных до 0,125-0,063 мм переходят в область повышенной формовочной влажности и низкой пластической прочности.

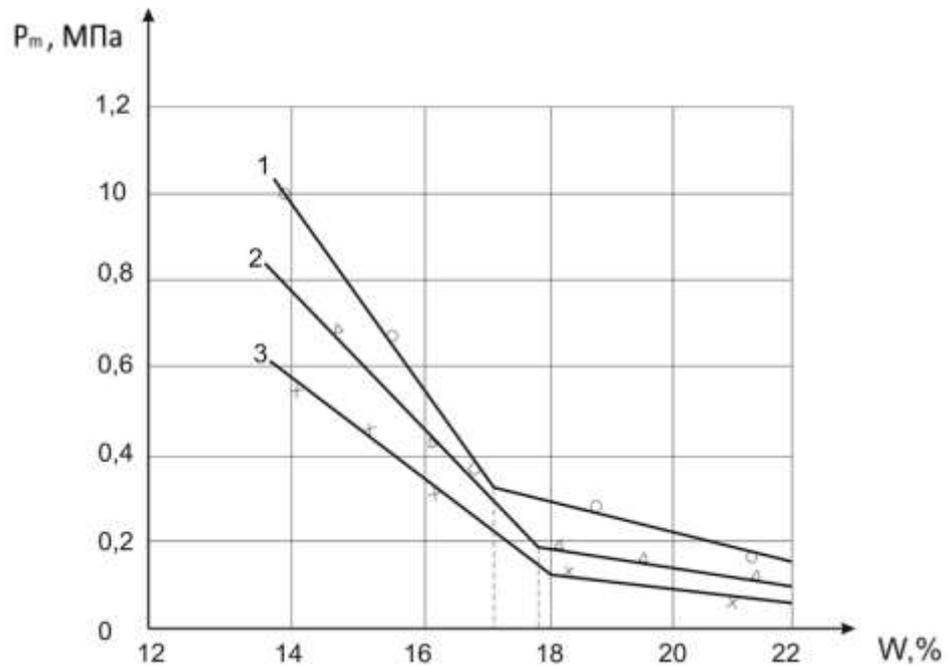


Рисунок 20 - Кривые зависимости пластической прочности от влажности масс из алевролита горизонта +100 м: 1-фракции 0,5-0,25 мм; 2-фракции 0,25-0,125 мм; 3-фракции 0,125-0,063 мм.

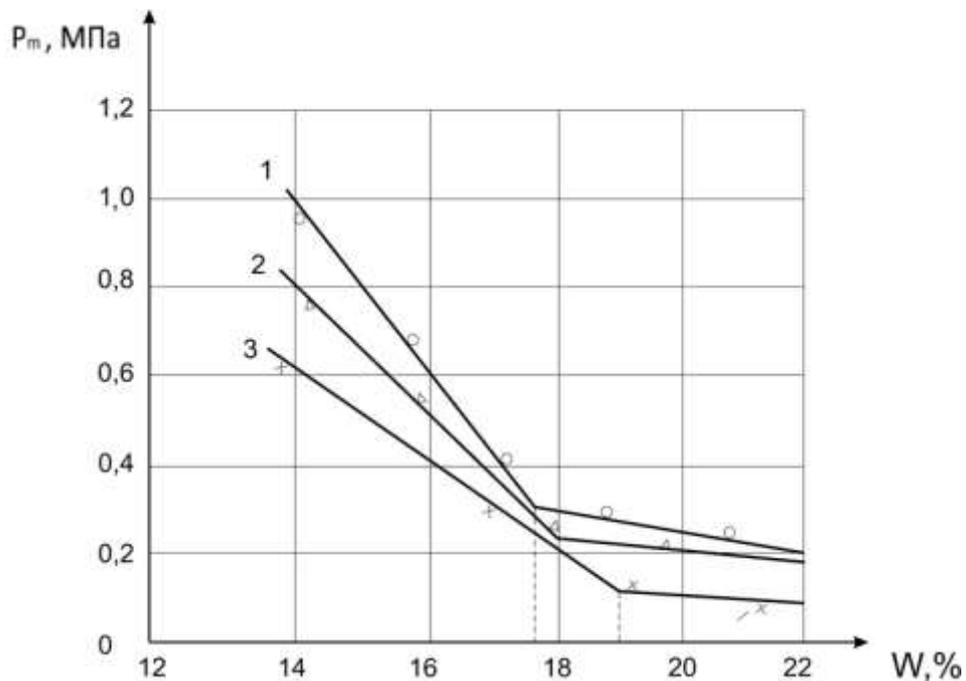


Рисунок 21 - Кривые зависимости пластической прочности от влажности масс из аргиллита горизонта +100 м: 1-фракции 0,5-0,25 мм; 2-фракции 0,25-0,125 мм; 3-фракции 0,125-0,063 мм.

Следовательно, массы, полученные из пород, измельченных до фракции 0,5-0,25 мм, проявляют низкую пластичность из-за недостаточной гидратации, об-

ладают повышенной прочностью, требуют высоких энергозатрат на обработку и могут быть отнесены к категории удовлетворительно формующихся.

Массы из пород фракции 0,25-0,125 мм хорошо формуются, достаточно гомогенизированы, малочувствительны к деформациям при сушке.

Массы из пород фракции 0,125-0,063 мм характеризуются повышенной влажностью, чувствительностью к сушке.

Можно сделать вывод о целесообразности измельчения пород до фракции менее 0,5 мм и необходимости детального изучения особенностей образования коагуляционных структур в процессе деформаций по параметрам: литологический тип, глубина залегания пород и их фракционный состав с подбором соотношения различных фракций, обеспечивающего оптимальные структурно-механические характеристики масс.

Для определения характеристик упруго-вязкопластических свойств масс оптимальной формовочной влажности из вскрышных пород, измельченных до фракции менее 0,5 мм, использовали прибор с параллельно-сдвигающимися пластинами. Особенностью данного прибора является применение в качестве датчика перемещения сдвоенного диодного механотрона типа 6.МХ.5С, сигнал от которого через усилитель, смонтированный в одном блоке с источником питания механотрона, поступает на потенциометр КСП-4 и деформации образцов (пластинок) записываются на носитель (рисунок 22).

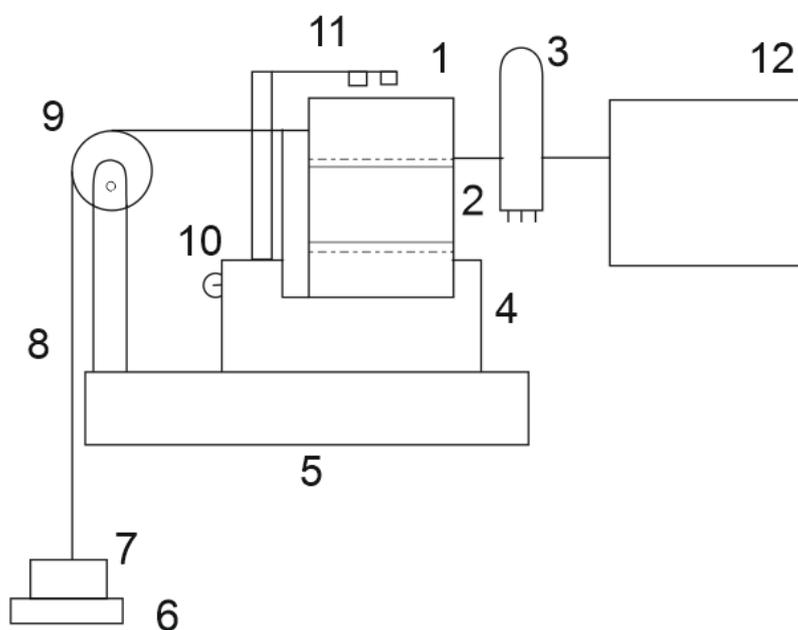


Рисунок 22 - Схема прибора с параллельно сдвигающимися пластинами: 1 – пластина, 2 – опытный образец, 3 – механотрон, 4 – гнездодержатель, 5 – станция, 6 – устройство для размещения груза, 7 – груз, 8 – нить, 9 – блок, 10 – винт, 11 – ограничитель хода верхней пластинки, 12 – потенциометр.

По результатам измерений все структурно-механические характеристики масс рассчитывали по программе «Реология», которая предназначена для расчета деформационных параметров пластических масс, подчиняющихся уравнению Шведова-Максвелла-Кельвина при серии последующих нагружений.

При проведении экспериментов были получены кривые деформационного процесса $\varepsilon=f(\tau)$, по которым графически получили значения деформации ε_0 , ε_2 и $\varepsilon_1\tau$ для расчетов в программе.

По мере получения расчетных данных были определены области напряжений P , в которых E_0 и E_2 и наибольшая пластическая вязкость постоянны, т.е. структуры находятся в практически неразрушенном состоянии, для которого характерно равновесие процессов разрушения и восстановления при нагружениях.

Условный статический предел текучести P_{K1} определен графическим путем по зависимости $\frac{d\varepsilon'}{d\tau} = f(P)$ как отрезок, отсекаемый линией графика на оси P

(рисунок 23). При проведении экспериментов приняты возрастающие нагрузки 100, 300, 500, 700, 900 и 1100 г. деформации определения по истечении 30, 60, 120, 180, 300, 420, 600, 700 и 900 с.

Полученные данные приведены в таблицах 11,12.

Таблица 11 - Упруго-вязко-пластические характеристики масс из вскрышных пород различных горизонтов залегания

| Наименование сырья | Толщина образца А, 10 ⁻³ м | Нагрузка F, кг | Упругая деформация $\varepsilon_{упр}$, 10 ⁻⁶ м | Эластическая деформация $\varepsilon_{эл}$, 10 ⁻⁶ м | Пластическая деформация $\varepsilon_{пл}$, 10 ⁻⁶ м | Общая деформация $\varepsilon_{общ}$, 10 ⁻⁶ м | Градиент $\frac{d\varepsilon'}{d\tau}$ 10 ⁻⁴ , с | Напряжение сдвига P, КПа | Модуль упругости E ₀ , МПа | Модуль эластичности E ₂ , МПа | Наибольшая пластическая вязкость η_1 , 10 ⁸ Па с |
|--------------------|---------------------------------------|----------------|---|---|---|---|---|--------------------------|---------------------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Горизонт +50 м | | | | | | | | | | | |
| Аргиллит | 6 | 0,1 | 8 | 6 | 7 | 21 | 0,13 | 0,98 | 7,32 | 9,80 | 401,3 |
| | | 0,3 | 9 | 5 | 8 | 20 | 0,16 | 2,94 | 19,56 | 35,28 | 420,6 |
| | | 0,5 | 12 | 13 | 12 | 37 | 0,22 | 4,90 | 24,00 | 24,50 | 466,8 |
| | | 0,7 | 18 | 17 | 20 | 55 | 0,38 | 6,86 | 22,87 | 24,50 | 473,0 |
| | | 0,9 | 28 | 33 | 47 | 108 | 0,87 | 8,82 | 18,50 | 16,00 | 487,3 |
| | | 1,1 | 51 | 56 | 42 | 149 | 0,78 | 10,78 | 12,70 | 11,55 | 492,6 |
| Алевролит | 6 | 0,1 | 6 | 4 | 7 | 17 | 0,13 | 0,98 | 9,80 | 14,70 | 360,3 |
| | | 0,3 | 6 | 5 | 9 | 20 | 0,17 | 2,94 | 29,40 | 35,28 | 372,8 |
| | | 0,5 | 15 | 10 | 17 | 42 | 0,31 | 4,90 | 19,57 | 29,40 | 380,4 |
| | | 0,7 | 24 | 16 | 31 | 71 | 0,56 | 6,86 | 17,15 | 25,82 | 386,7 |
| | | 0,9 | 37 | 27 | 50 | 114 | 0,92 | 8,82 | 14,70 | 19,60 | 372,0 |
| | | 1,1 | 62 | 40 | 52 | 154 | 0,96 | 10,78 | 10,43 | 16,17 | 395,6 |
| Горизонт +100 м | | | | | | | | | | | |
| Аргиллит | 6 | 0,1 | 8 | 7 | 5 | 20 | 0,10 | 0,98 | 7,32 | 8,40 | 423,8 |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|-----|----|----|----|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0,3 | 10 | 8 | 7 | 25 | 0,13 | 2,94 | 5,88 | 22,20 | 490,3 |
| | | 0,5 | 14 | 16 | 18 | 48 | 0,33 | 4,90 | 17,64 | 18,00 | 510,6 |
| | | 0,7 | 24 | 20 | 31 | 75 | 0,56 | 6,86 | 21,42 | 21,58 | 516,2 |
| | | 0,9 | 38 | 42 | 50 | 130 | 0,92 | 8,82 | 13,92 | 12,60 | 530,3 |
| | | 1,1 | 60 | 52 | 56 | 168 | 1,03 | 10,78 | 10,78 | 12,44 | 538,5 |
| Алевролит | 6 | 0,1 | 11 | 8 | 9 | 28 | 0,17 | 0,98 | 5,34 | 7,32 | 352,8 |
| | | 0,3 | 12 | 7 | 8 | 27 | 0,15 | 2,94 | 14,70 | 25,20 | 361,7 |
| | | 0,6 | 21 | 16 | 24 | 61 | 0,44 | 4,90 | 13,98 | 18,00 | 370,3 |
| | | 0,7 | 37 | 30 | 51 | 118 | 0,93 | 6,86 | 11,11 | 13,70 | 372,8 |
| | | 0,9 | 50 | 42 | 56 | 148 | 1,03 | 8,82 | 10,58 | 12,64 | 375,8 |
| | | 1,1 | 68 | 50 | 64 | 162 | 1,10 | 10,78 | 9,52 | 12,93 | 377,2 |
| Горизонт +150 м | | | | | | | | | | | |
| Аргиллит | 6 | 0,1 | 13 | 10 | 9 | 32 | 0,17 | 0,98 | 4,92 | 5,88 | 415,0 |
| | | 0,3 | 15 | 9 | 7 | 31 | 0,13 | 2,94 | 11,76 | 19,56 | 426,4 |
| | | 0,5 | 26 | 21 | 34 | 81 | 0,63 | 4,90 | 11,27 | 14,00 | 430,8 |
| | | 0,7 | 31 | 40 | 43 | 114 | 0,80 | 6,86 | 13,27 | 10,26 | 435,2 |
| | | 0,9 | 45 | 51 | 29 | 125 | 0,93 | 8,82 | 11,76 | 10,37 | 433,4 |
| | | 1,1 | 54 | 68 | 50 | 172 | 0,92 | 10,78 | 12,00 | 9,30 | 461,8 |
| Алевролит | 6 | 0,1 | 9 | 7 | 8 | 24 | 0,15 | 0,98 | 6,12 | 8,40 | 318,7 |
| | | 0,3 | 10 | 11 | 9 | 30 | 0,17 | 2,94 | 17,64 | 16,03 | 324,3 |
| | | 0,5 | 24 | 29 | 35 | 88 | 0,64 | 4,90 | 12,00 | 10,24 | 350,8 |
| | | 0,7 | 38 | 40 | 47 | 125 | 0,87 | 6,86 | 10,82 | 10,31 | 352,0 |
| | | 0,9 | 46 | 51 | 40 | 117 | 0,74 | 8,82 | 11,54 | 11,07 | 371,6 |
| | | 1,1 | 51 | 60 | 49 | 160 | 0,90 | 10,78 | 12,68 | 10,78 | 383,4 |

Таблица 12 - Структурно-механические характеристики масс из вскрышных пород

| Наименование характеристик | Обозначение единицы измерения | Горизонт +50 м | | Горизонт +100 м | | Горизонт +150 м | |
|---|---|----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
| | | Аргиллит | Аргиллит | Аргиллит | Аргиллит | Аргиллит | Аргиллит |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Влажность | ОФВ, % | 17,5 | 17,1 | 17,5 | 17,0 | 16,6 | 16,3 |
| Модуль быстрой эластичной деформации | E_0 , МПа | 23,4 | 12,62 | 12,5 | 10,04 | 12,5 | 11,41 |
| Модуль медленной эластичной деформации | E_2 , МПа | 26,35 | 14,38 | 18,51 | 16,43 | 10,3 | 18,26 |
| Условный статический предел текучести | $R_{K1} * 10^{-3}$ | 0,1 | 0,14 | 0,21 | 0,2 | 0,24 | 0,23 |
| Градиент скорости деформации | $\frac{dE^1}{d\tau} * 10^{-4}$ | 0,39 | 0,85 | 1,02 | 1,18 | 0,93 | 0,88 |
| Пластическая вязкость | $\eta_1 * 10^8$ Па, с | 534,2 | 393,3 | 470,4 | 375,6 | 436,3 | 351,4 |
| Эластичность | λ | 0,48 | 0,38 | 0,42 | 0,34 | 0,45 | 0,34 |
| Пластичность по Воляровичу | $\frac{P_{K1}}{\eta_1} * 10^{-7}, c^{-1}$ | 0,0022 | 0,0035 | 0,0044 | 0,053 | 0,057 | 0,065 |
| Период истинной релаксации | Θ , с | 392 | 578 | 766 | 611 | 772 | 466 |
| Быстрая эластическая деформация (упругая) | E_0 , % | 38 | 44,8 | 39,5 | 45,2 | 38 | 47,1 |
| Медленная эластическая дефор- | E_2 , % | 25,2 | 24,8 | 26,0 | 25,0 | 27,4 | 27,6 |

| | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------|------|------|------|------|------|------|
| мация | | | | | | | |
| Пластическая де- формация | $E_1 \tau, \%$ | 36,8 | 30,4 | 34,4 | 29,8 | 34,6 | 25,3 |
| Структурно меха- нический тип | III | III | III | III | III | III | III |

По полученным характеристикам определяли структурно-механический тип масс с использованием классификации С.П. Ничипоренко [110].

По показателям реологических характеристик масс из вскрышных пород, представленных в таблицах: пластическая вязкость масс из алевролитов немного выше, чем у масс из аргиллитов и увеличивается при изменении горизонта залегания пород от +50 до +150 м.

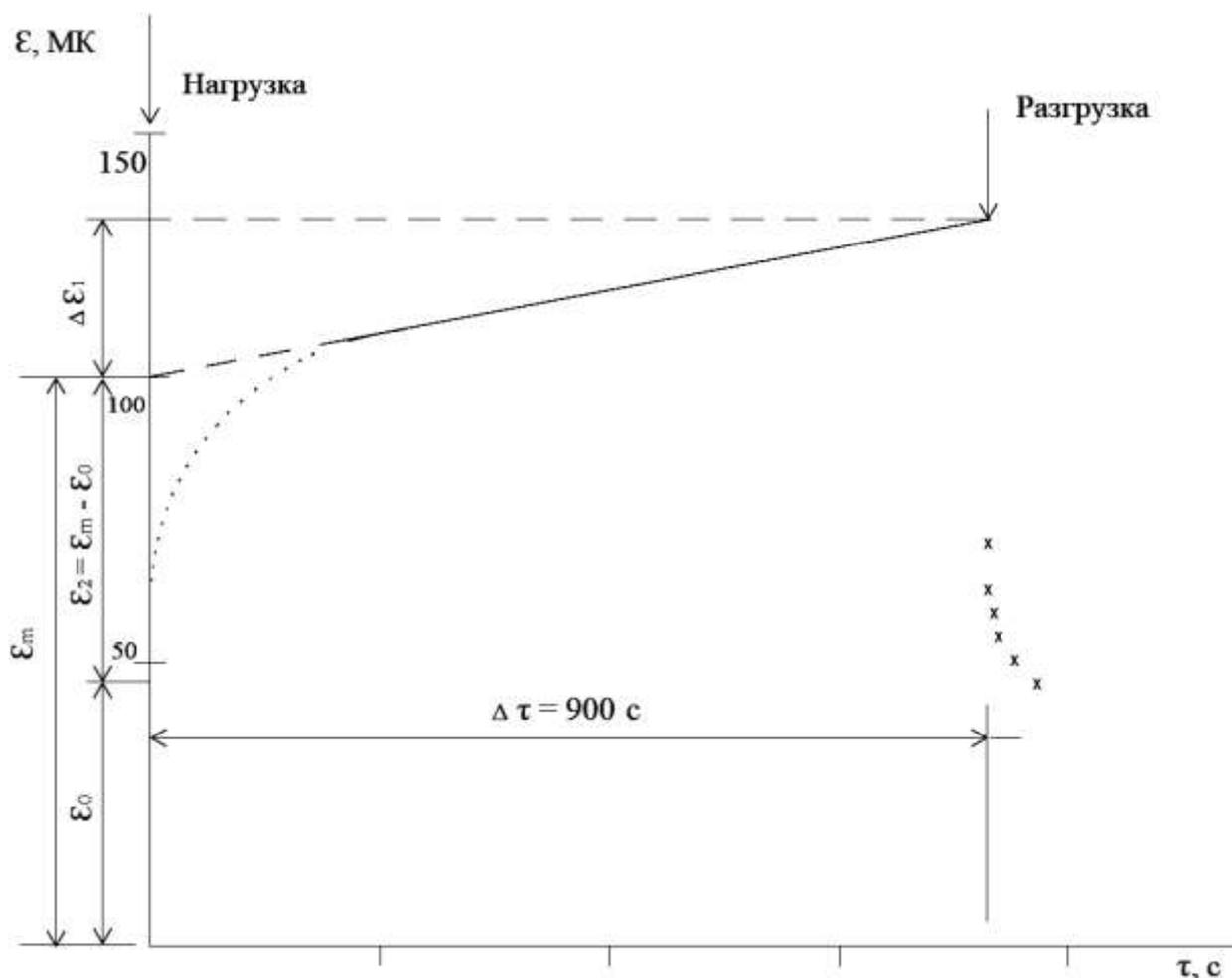


Рисунок 23 - Схема определения зависимости деформации от времени: ϵ_0 – быстрая эластическая деформация; ϵ_m – полная эластическая деформация; $\epsilon_2 = \epsilon_m - \epsilon_0$ – медленная эластическая деформация; $\Delta \epsilon_1$ – пластическая деформация

При увеличении влажности массы наблюдается увеличение их эластичности с 0,46 до 0,48 для аргиллитов и с 0,34 до 0,38 для алевролитов. При изменении глубины залегания пород от +50 м до +150 м, эластичность масс снижается и не достигает уровня, характерного для хорошо формирующихся масс.

Период релаксации для масс из вскрышных пород не совпадает с традиционным глинистым сырьем, т.к. составляет 392-772 с и значительно превышает показатели для хорошо формирующихся масс (1200-1400 с).

По соотношению трех видов деформаций массы из аргиллитов и алевролитов относятся к третьему структурно-механическому типу, для которого свойственно преобладающее развитие упругих (быстрых эластических) деформаций ($\varepsilon_0 > \varepsilon_1 \tau > \varepsilon_2$), обуславливающих пониженную формуемость при хрупком разрушении.

Проведен сопоставительный анализ влияния минералогического состава пород на реологические свойства масс, в результате которого установлено, что для аргиллитов и алевролитов горизонта +50 м, с содержанием 25-30 % и 5-10 % каолинита соответственно и 20-25 % гидрослюд, характерно образование наиболее вязкой структуры керамической массы с более высокими значениями эластичности (0,38-0,48). При уменьшении содержания каолинита до 15-25 % и гидрослюды до 20 % в породах горизонтов +100 и +150 м снижается пластическая вязкость и эластичность масс, а высокое содержание кварца ослабляет молекулярное взаимодействие между глинистыми частицами и снижает прочность коагуляционных структур.

Выявленные закономерности, согласуются с закономерностями изменения реологических свойств масс из традиционного глинистого сырья от их минералогического состава. Особенности вскрышных пород, как нового типа органоминерального сырья, образованного в результате цементации и дегидратации глинистых минералов и содержащих органическое вещество в количестве 5-15 % определяют отличие основных реологических характеристик масс из вскрышных пород от глинистых.

Отличием масс из вскрышных пород от глинистых является их более прочная структура, высокая вязкость, более низкая в 2-3 раза продолжительность периода релаксации и несколько низкие эластичность и пластичность масс. Это объясняется низким содержанием в породах глинистых составляющих и присутствием органического вещества. Причем, среди глинистых минералов преобладает каолинит, который характеризуется склонностью массы к хрупкому разрушению при формовании (III структурно-механический тип).

Вскрышные породы, являясь новым типом органоминерального сырья, содержат органическое вещество. При переходе от глубины залегания +150 м к глубине +50 м содержание органического вещества увеличивается: у аргиллитов оно составляет 10-15%, а у алевролитов - 5-10%.

Присутствие органических веществ в глинистых породах влияет на свойства керамических масс. В породах с большим содержанием органических веществ предел пластического состояния выше предела текучести. В органических веществах содержатся смолы и битумные вещества, имеющие коагуляционные структуры, которые изменяют реологические свойства масс.

Проведенные исследования закономерностей изменения реологических свойств масс из различных горизонтов вскрышных пород показали, что с уве-

личением содержания органических веществ в аргиллитах от 10-15% наблюдается снижение пластической вязкости масс на 10-15%.

С увеличением количества органического вещества, доля медленных эластических деформаций снижается от 27,4 до 25,2 %, а пластические деформации увеличиваются.

Для регулирования структурно-механических свойств масс из вскрышных пород и совершенствовании их коагуляционных структур проведены исследования по оптимизации фракционного состава масс симплекс-решетчатым методом планирования эксперимента, который позволил на основе небольшого количества экспериментов получить более полную характеристику исследуемых зависимостей и определить оптимальное соотношение фракций.

Эксперименты проводились для трехкомпонентных составов, в которых за X_1 , X_2 , X_3 приняты содержания частиц (%) размером 0,5-0,25; 0,25-0,125; 0,125-0,063 мм соответственно.

Матрица экспериментов представлена ниже, таблица 13.

Таблица 13 – Матрица планирования экспериментов

| № состава | Содержание (% масс.) фракций, мм | | |
|-----------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | 0,5 – 0,25 (X_1) | 0,25 – 0,125 (X_2) | 0,125 – 0,063 (X_3) |
| 1 | 100 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 100 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 100 |
| 4 | 50 | 50 | 0 |
| 5 | 50 | 0 | 50 |
| 6 | 0 | 50 | 50 |

Математическая модель зависимости структурно-механических свойств от фракционного состава пород выражалась полиномом 2-го порядка:

$$y = b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 \quad (5)$$

где y – исследуемый параметр;

y_i – экспериментальные значения;

b_i – эмпирические коэффициенты.

Обработка результатов экспериментов производилась с использованием специальных программ – Microsoft Exel, Approxim, MatCAD и др.

Особенности деформационного процесса и коагуляционного структурообразования изучались по диаграммам «состав-свойство». По значению структурно-механических характеристик и соотношению деформаций определяли структурно-механический тип исследуемых масс и оценивали их формовочные способности.

Анализ изменения пластической прочности P_m и ОФВ масс в зависимости от фракционного состава пород показал, что с увеличением содержания фракций 0,5-0,25 мм и 0,25-0,125 мм от 10-80 % повышается пластическая прочность масс из аргиллита горизонта +50 м и от 0,09 до 0,16 МПа, при этом отмечается снижение ОФВ масс от 18,2-17,8 %, что обусловлено уменьшением количества фракции 0,125-0,063 мм. По полученным данным можно выделить область, ограниченную содержанием фракций X_3 – 50-90 % и X_2 – 10-40 %, в которой массы имеют минимальную пластическую прочность 0,09 МПа при ОФВ – 18,2 %, что соответствует снижению сил молекулярного взаимодействия между частицами и жесткости структуры.

Для масс из аргиллита горизонта +100 и характерен рост пластической прочности в 1,5-2 раза при содержании фракции 0,125-0,063 мм от 10 до 30 %. При увеличении количества этой фракции пластическая прочность масс снижается, а ОФВ имеет значение выше 13,7 %. Полученные данные указывают на дисперсию системы, что означает увеличение удельной поверхности частиц и повышение концентрации контактов за счет увеличения количества частиц введением высокодисперсного компонента (фракции 0,125-0,063 мм).

Для масс из аргиллита +150 м изменение P_m от 0,30 до 0,45 МПа сопровождается снижением ОФВ от 18 до 17 % при содержании крупной и средней фракций до 80 %.

На диаграммах изменения P_m и ОФВ фракционного состава масс из алевролита +50 м при увеличении содержания фракций 0,5-0,25 мм и 0,25-0,125 мм от 35-85 % и от 15-45 % соответственно при незначительном содержании фракции 0,125-0,063 мм, изменение P_m и ОФВ характеризуется ростом P_m от 0,12 до 0,24 МПа, при снижении ОФВ от 18,5 до 17,5 %.

Закономерности изменения P_m и ОФВ масс из алевролита +100 м идентичны предыдущим, область максимального значения $P_m = 0,28$ МПа при ОФВ = 17,2 % соответствует содержанию фракций: 0,5-0,25 мм – 10-40 %; 0,25-0,125 мм – более 50 %; 0,125-0,063 мм – до 15 %.

При изменении глубины залегания вскрышных пород от +50 до +150 м пластическая прочность масс на их основе возрастает с 0,09 до 0,45 МПа. Заметно, что массы из аргиллита обладают более прочной структурой по сравнению с массой из алевролитов. Это объясняется увеличением числа контактов частиц в единице объема системы вследствие более высокого содержания глинистых минералов в аргиллитах.

Массы из аргиллита горизонта +50 м имеют максимальные значения эластичности - 0,6 в области фракционных составов с содержанием мелкой фракции 60-90 %, средней – 10-40 %, крупной – до 15%. Увеличение размеров частиц от 0,25 до 0,5 мм снижает эластические свойства масс.

Для масс из аргиллита горизонта +100 и область оптимальных значений эластичности 0,5-0,54 ограничено фракционным составом: X_1 – 15-70 %, X_2 – 35-65 % и X_3 – до 60 %. Максимальные значения эластичности 0,48 имеют мас-

сы из аргиллита +150 и с содержанием фракций X_1 – 10-60 %, X_2 – до 15 % и 30-90 % и X_3 – 10-90 %.

У масс из алевролита горизонта +50 м в области фракционного состава, ограниченного содержанием: 0,5-0,25 мм – 5-15 %, 0,25-0,125 мм – 5-80 % и 0,125-0,063 мм – 20-90 % отмечены наибольшие значения эластичности 0,45.

Для масс из алевролита горизонта +100 и с преобладающим содержанием фракций 0,5-0,25 мм (40-60 %) и 0,25-0,125 мм (10-40 %) и незначительным количеством фракций 0,125-0,063 мм (20-30 %) характерно более высокое значение $\lambda=0,5$ по сравнению с областью, ограниченной значениями эластичности до 0,4.

Область оптимального значения $\lambda=0,48$ выделена для масс из алевролита +150 м со следующими ограничениями по фракционному составу: 0,5-0,25 мм – до 45 %; 0,25-0,125 мм – 10-75 % и 0,125-0,063 мм – 20-65 %.

Сравнивая полученные результаты можно отметить идентичность показателей эластичности как для литологических типов, так и для горизонтов их залегания с небольшим превосходством значений у масс из аргиллитов.

По представлениям С.П. Ничипоренко снижение пластической вязкости масс позволяет получать более пластичную и эластичную систему с ее быстрой релаксацией, а с увеличением вязкости система становится менее пластичной и трудней релаксирует.

Изменение пластической вязкости масс из аргиллита горизонта +50 м (рисунок 22) в сторону снижения происходит при уменьшении содержания мелкой фракции 0,125-0,063 мм от 85 до 15 %, количестве средней фракций до 60 % и крупной - до 40-90 %. Значения вязкости снижается от $525 \cdot 10^8$ до $456 \cdot 10^8$ Па·с.

Закономерности изменения вязкости у масс из аргиллита +100 м аналогичны предыдущим и имеют значения от $506 \cdot 10^8$ до $460 \cdot 10^8$ Па·с. Несколько иная зависимость вязкости от фракционного состава выявлена для масс из аргиллита +150 м, на диаграмме получена область оптимального значения $\eta_1=500 \cdot 10^8$ Па·с, которая является максимальной. Эта область ограничена содержанием X_1 –5-55%, X_2 –до 45% и X_3 –35-85%. С изменением горизонта залегания аргиллита +50 до +150 м пластическая вязкость масс на их основе снижается на $15 \cdot 10^8$ - $20 \cdot 10^8$ Па·с.

Области оптимальных значений вязкости масс из алевролитов исследуемых горизонтов аналогичны аргиллитам, закономерности изменения вязкости от фракционного состава характеризуются снижением значений η_1 от $536 \cdot 10^8$ до $489 \cdot 10^8$ Па·с в зону фракционных составов с количеством X_1 – 50-90 %, X_2 –10-40 % и X_3 –до 30 %. Явление релаксации связано с постоянным рассасыванием упругих напряжений сдвига при постоянстве первоначально заданной деформации и характеризуется отношением двух констант – вязкости и жесткости, что и является периодом релаксации в 1,5-2 раза меньше, чем для аргиллитов.

При подборе фракционных составов масс из вскрышных пород, обеспечивающих оптимальные реологические характеристики установлено, что для аргиллитов всех горизонтов в области фракционных составов: 0,5-0,25 мм -10-50

%, 0,25-0,125 мм – 30 - 80 % и 0,125-0,063 мм – 10-30 %, период истинной релаксации составляет 700-750 с. Массы из алевролитов имеют оптимальные значения периода релаксации 650-705 с при содержании фракций 0,5-0,25 мм – 20-90 %; 0,25-0,125 мм – 10-70% и 0,125-0,063 мм – 30-70 %.

Анализируя значения пластичности по Воларовичу, отмечены изменения в пределах $0,0014-0,0027 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ для аргиллитов и $0,008-0,024 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$ для алевролитов с увеличением пластичности от горизонта +50 м к горизонту +150 м в области фракционных составов с преобладающим содержанием частиц 0,125-0,063 мм (30-70 %) и количеством фракций 0,5-0,25 мм – 10-40 % и 0,25-0,125 мм – 18-35 %.

Наиболее полно характеризует деформационный процесс соотношение различных типов деформаций в сопоставимых условиях. На этом основана и классификация коагуляционных структур по структурно-механическим типам, позволяющая прогнозировать технологические свойства масс, включая их формовочные, сушильные и термические свойства, а следовательно, и качество готовой продукции.

При проведении экспериментов за параметры оптимизации масс также принимались быстрая эластическая (упругая) ε_0 , медленная эластическая ε_2 и пластическая $\varepsilon_1 \tau$ деформации.

При оптимизации выявлялись области фракционных составов масс, для деформаций с переходом масс в области более благоприятного для процесса формирования развития деформаций.

Формирование коагуляционных структур при изменении фракционного состава пород происходит следующим образом. Развитие медленных эластических деформаций масс из аргиллита +50 м наблюдается при содержании фракций 0,25-0,125 мм и 0,5-0,25 мм в количестве 20-40% и 10-30 %, о чем свидетельствуют высокие значения эластичности и пластичности, т.е. за счет увеличения содержания этих фракций происходит переход масс из аргиллита +50 м из третьего в первый структурно-механический тип.

Для масс из аргиллита +100 м характерно преобладающее развитие медленных эластических деформаций в области, ограниченной содержанием фракций 0,5-0,25 мм – 5-40 %, 0,25-0,125 мм – 15-55 %, 0,125-0,063 мм – 20-50 %, но поскольку $\varepsilon_2 > \varepsilon_1 \tau > \varepsilon_0$, то эти массы относятся ко второму структурно-механическому типу.

Развитие деформационного процесса масс из аргиллита +150 м происходит аналогично с соотношением деформаций, характерным для второго структурно-механического типа в области составов: 0,5-0,25 мм – 10-40 %, 0,25-0,125 мм – 5-50 %, 0,125-0,063 мм – 20-60 %.

Массы из алевролита горизонта +50 м относятся к первому структурно-механическому типу, оптимальные значения реологических свойств получены для фракционных составов с преобладанием фракций 0,25-0,125 мм и 0,125-0,063 мм.

Коагуляционное структурообразование масс из алевролитов +100 м и +150 м характеризуется увеличением доли медленных эластических и пластических деформаций при содержании фракций 0,5-0,25 мм – 0-55 %, 0,25-0,125 мм – 5-65 %, 0,125-0,063 мм – 15-75 %. Уменьшение доли упругой деформаций этих масс характеризуется снижением показателей модуля упругости. Массы относятся ко второму структурно-механическому типу.

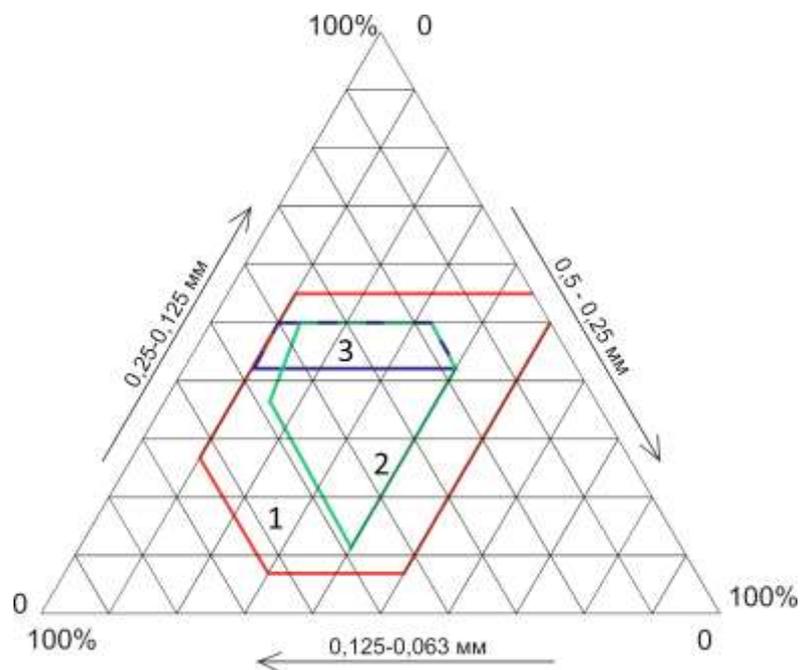
Обобщая результаты полученных зависимостей структурно-механических характеристик и развития деформаций от фракционных составов, можно отметить, что оптимальные фракционные составы масс из вскрышных пород различных литологических типов и горизонтов залегания представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Оптимальные фракционные составы масс из вскрышных пород, %

| Фракция | Отличительный признак – литологический тип | | Отличительный признак – горизонт залегания | | |
|----------------|--|-----------|--|-------|-------|
| | Аргиллит | Алевролит | +50 | +100 | +150 |
| 0,5-0,25 мм | 10-40 | 15-50 | 10-50 | 15-40 | 10-40 |
| 0,25-0,125 мм | 15-50 | 40-50 | 5-55 | 5-50 | 40-50 |
| 0,125-0,063 мм | 20-50 | 20-40 | 20-65 | 20-50 | 20-50 |

Наибольшую область оптимальных фракционных составов с отличительным признаком – горизонт залегания, имеют массы из пород горизонта +50 м, а с отличительным признаком – литологический тип, из аргиллитов (рисунок 24).

Для масс из алевролитов отмечено снижение максимальных пределов содержания фракций: 0,25-0,125 мм от 15-50 % до 40-50 %. Массам из вскрышных пород горизонта +150 м свойственно ограничение содержания этой фракций от 5-55 % до 40-55 %.



1 – горизонт +50; 2 – горизонт +100; 3 – горизонт +150

Рисунок 24 - Диаграмма фракционных составов вскрышных пород различных горизонтов залегания, оптимальных по структурно-механическим свойствам

Таким образом, полученные данные позволяют выделить области фракционных составов масс из вскрышных пород, оптимальных по структурно-механическим характеристикам по одному отличительному признаку – горизонту их залегания.

3.3 Исследование структурно-механических свойств масс из вскрышных пород с добавками

Изменение структуры и пластических свойств масс в процессе их переработки можно добиться путем введения различных добавок. Органические примеси и пластифицирующие добавки оказывают положительное воздействие на формовочные и структурно-механические свойства масс. [111,112].

Путем подбора оптимальных фракционных составов вскрышных пород удалось добиться некоторого улучшения структурно-механических свойств. Однако значения упругости и периода истинной релаксации не достигли уровня, характерного для масс с хорошей формовочной способностью. Несмотря на то, что в процессе деформации преобладали медленные упругие деформации.

Учитывая отсутствие затруднений при смешивании со вскрышными породами, нами было изучено влияние высокоминерализованных углистых пород,

высокоосновного технического оксихлорида алюминия и глины Калкаманского месторождения.

Высокоминерализованные углистые породы предварительно измельчали и вводили в смеси в количестве 4-15 % , таблица 15.

Углистые сланцы, оказывают влияние на реологические свойства масс, что обусловлено прежде всего наличием в углях смоляных и битумных компонентов, которые играют роль коагулянтов, способствуя формированию однородной и более пластичной массы.

Смоляные и битумные вещества, присутствующие в углистых породах, обладают способностью коагулировать, что означает, что они способны объединяться с другими веществами, обеспечивая стабилизацию и однородность состава массы. Это приводит к снижению пластической вязкости масс на 6-13%, что в свою очередь повышает их подвижность и способствует легкости формования.

Одновременно с уменьшением пластической вязкости происходит снижение пластической прочности на 18-23%, что делает массы менее жесткими и более формовочными. Это связано с тем, что уменьшение содержания смоляных и битумных веществ в углистых породах приводит к изменению структурно-механических свойств массы.

Таким образом, введение углистых пород с высоким содержанием смоляных и битумных веществ способствует улучшению реологических свойств масс, делая их более подвижными, менее пластическими и более формовочными.

Использование высокоминерализованных углистых пород позволило улучшить формовочные свойства масс, снизить водопоглощение изделий, а также повысить их физико-механические показатели (таблица 16).

Использование высокоосновного технического оксихлорида алюминия в качестве добавки позволит улучшить формовочные свойства масс из вскрышных пород. Оксихлорид алюминия, отход химического производства, который получают из шламов производства безводного хлорида алюминия. Химический состав оксихлорида алюминия представлен формулой $[Al(OH)_{3-x}Cl_x]_n$, где $x = 0,5$; $n = 2$.

Вскрышные породы измельчают до фракций менее 0,5 мм, и затем увлажняют водой, смешанной с химической добавкой в количестве 3-7% от массы сырья. Это позволяет достичь нормальной формовочной зависимости массы, то есть обеспечить оптимальные условия для ее формования.

Таким образом, использование высокоосновного технического оксихлорида алюминия в качестве добавки позволяет улучшить качество и формовочные свойства масс из вскрышных пород, что может быть важным для их применения в различных производственных процессах.

Оксихлорид алюминия разбивает сульфатные оболочки вокруг глинистых частиц вскрышных пород, диспергируя их под действием ионов OH^- . Затем

частицы сцепляются, формируя структуры с медленными эластическими деформациями, что делает массы стабильными и прочными.

Таблица 15 – Составы сырьевых смесей, содержащих добавки

| Компоненты | Содержание компонентов в смеси, масс., % | | | | | | | |
|---|--|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Вскрышная порода угледобычи | 96 | 92 | 90 | 97 | 95 | 93 | 80 | 80 |
| Высокоминерализованные углистые породы с содержанием смоляных и битумных веществ 3-9% | 4 | 8 | 12 | | | | | |
| Высокоосновной технический оксихлорид алюминия | | | | 3 | 5 | 7 | 9 | 8 |
| Калкаманская глина | | | | | | | 11 | 12 |

При изучении воздействия оксихлорида алюминия на массы из вскрышных пород обнаружено, что его влияние одинаково для всех типов пород и горизонтов залегания. Добавка улучшает реологические и формовочные свойства масс. Снижает пластическую вязкость на 40% и пластическую прочность на 20-25%, делая массы более подходящими для формования. Показатели их пластичности становятся сравнимы с характеристиками хорошо формирующихся масс. Отмечено перераспределение в соотношении деформаций в сторону преобладающего развития пластических деформаций, что свидетельствует о принадлежности масс первому структурно-механическому типу (таблица 16).

Таблица 16 - Структурно-механические характеристики и показатели качества масс из вскрышных пород с добавками

| № состава | Формовочная влажность, % | Пластическая прочность, P_m , МПа | Пластическая вязкость, η_1 10^8 Па с | Эластичность, λ | Деформации, % | | | Прочность при сжатии, МПа | Водопоглощение, % | Морозостойкость, цикл |
|-----------|--------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------|----------------------|------------------------|--------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|
| | | | | | Быстрые эластические | Медленные эластические | Пластические | | | |
| 1 | 17,0 | 0,545 | 451,5 | 0,42 | 30,65 | 40,32 | 29,03 | 42,4 | 9,2 | 50 |
| 2 | 16,6 | 0,323 | 511,8 | 0,60 | 33,33 | 43,14 | 25,53 | 49,8 | 8,5 | 60 |
| 3 | 17,2 | 0,381 | 423,1 | 0,55 | 36,59 | 41,76 | 21,95 | 48,6 | 8,9 | 60 |
| 4 | 17,0 | 0,518 | 440,3 | 0,48 | 29,50 | 52,50 | 28,10 | 49,8 | 8,2 | 75 |
| 5 | 16,0 | 0,317 | 405,4 | 0,66 | 32,40 | 45,10 | 22,50 | 51,4 | 7,0 | 100 |
| 6 | 17,2 | 0,342 | 418,8 | 0,58 | 39,22 | 43,40 | 21,40 | 52,2 | 7,2 | 80 |
| 7 | 16,9 | 0,452 | 420,6 | 0,56 | 38,62 | 44,53 | 27,45 | 54,2 | 7,2 | 100 |
| 8 | 17,1 | 0,427 | 415,2 | 0,59 | 42,43 | 48,65 | 28,34 | 47,5 | 9,1 | 100 |

Влияние оксихлорида алюминия на физико-механические показатели полученных изделий проявляется в снижении водопоглощения от 8,2 до 7,0 %, увеличении прочности при сжатии на 10-12 %. Изделия с содержанием оксихлорида алюминия выдерживают до 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания и обладают хорошим внешним видом.

На основе оптимальных фракционных составов в лабораторных условиях изготовлены образцы диаметром 50 мм и высотой 45-55 мм. После сушки в естественных условиях в течение суток, досушивались в сушильном шкафу при температуре 90 ± 5 °С в течение 24 часов. Оптимальные фракционные составы для керамических шихт изготовленных образцов указаны в таблице 17.

Таблица 17. Оптимальный фракционный состав вскрышных пород угледобычи

| Наименование сырья | Содержание вскрышных пород, в % для фракции размером, мм | | |
|--------------------|--|------------|--------------|
| | 0,5-0,25 | 0,25-0,125 | 0,125-0,0063 |
| Аргиллит | 5-45 | 10-55 | 15-50 |
| Алевролит | 10-55 | 15-50 | 15-45 |

После завершения процесса сушки образцы подвергались осмотру, при котором фиксировались любые изменения в их внешнем виде. Также проводилась оценка воздушной усадки и других характеристик образцов. (рисунок 25).



Рисунок 25 - Лабораторные образцы на основе аргиллита и алевролита

Обжиг образцов проводился в муфельной печи с автоматическим регулированием обжига. Скорость подъема температуры 1-3 градуса в минуту до максимальной температуры 975-1000 °С. Согласно разработанному режиму выдержка при максимальной температуре составляла 1,5-2 часа.

Выводы

В ходе исследований было установлено;

- вскрышные породы представляют собой инновационный вид органоминерального материала, который пригоден для изготовления керамического кирпича. Они проявляют пластические свойства при измельчении до размеров частиц менее 0,5 мм.

- в зависимости от литологических типов, горизонтов залегания пород, а также содержания органических веществ, минералогического и фракционного составов на их основе образуются коагуляционные структуры различных структурно-механических типов;

- был определён механизм изменения пластической прочности (P_m) от фракционного состава масс и оптимальной формовочной влажности (ОФВ);

- структурно-механические свойства зависят от минералогического состава пород. Уменьшение содержания каолинита и гидрослюд в породах с глубины от горизонта +50 м до +150 м приводит к снижению пластической вязкости и эластичности масс. Высокое содержание кварца ослабляет силы молекулярного взаимодействия между глинистыми частицами и снижает прочность коагуляционных структур;

- при увеличении содержания органического вещества в породах отмечается снижение пластической вязкости от $534,2 \cdot 10^8$ Па·с до $351,1 \cdot 10^8$ Па·с, увеличение периода истинной релаксации от 578 до 772 с для масс из аргиллитов и от 468 до 578 с – из алевролитов. С увеличением количества органического вещества доля медленных эластических деформаций снижается, а пластических – увеличивается;

- была выявлена возможность контроля структурно-механических характеристик масс из вскрышных пород путём подбора их фракционного состава. Также были определены оптимальные соотношения фракций вскрышных пород, обеспечивающие формирование масс с хорошей формовочной способностью;

- структурно-механические свойства оптимальных фракционных составов изменяются следующим образом: эластичность – от 0,45-0,60; пластическая вязкость - $480 \cdot 10^8$ - $515 \cdot 10^8$ Па·с, период истинной релаксации – 660-750 с, пластичность по Воларовичу – $0,0014$ - $0,024 \cdot 10^{-7}$ с⁻¹. При формировании коагуляционных структур преобладают медленные эластические деформации 42,5 - 50,0 %;

- проведенными исследованиями доказано, что при введении в массы из вскрышных пород добавок, достигается значительное улучшение структурно-механические свойства масс;

- установлено, что эффективность воздействия высокоминерализованных углистых пород на коагуляционную структуру масс заключается в том, что смоляные и битумные вещества, находящиеся в этих породах, вызывают в мас-

сах коагуляционные явления, на 6-13% снижается их пластическая вязкость, уменьшается жесткость и улучшается формовочная способность масс;

- высокоминерализованные углистые породы способствуют переводу масс из третьего в первый структурно-механический тип за счет значительного снижения пластических и преобладания медленных эластических деформаций;

- на основе масс из вскрышных и углистых пород получены керамические изделия с высокими физико-механическими показателями: прочностью при сжатии – 42,4-49,8 МПа, морозостойкостью 50-75 циклов и водопоглощением 8,6-9,2 %;

- установлен способ регулирования структурно-механических свойств масс из вскрышных пород введением химической добавки - оксихлорида алюминия, при введении которой массы проявляют свойства, характерные для хорошо формующихся масс;

- влияние оксихлорида алюминия на физико-механические показатели изделий проявляются в снижении водопоглощения от 8,2 до 7,0 %, увеличении их морозостойкости до 100 циклов и прочности при сжатии 49,8-51,4 МПа;

- использование Калкаманской глины в сочетании с оксихлоридом алюминия позволяет получить хорошо формующиеся массы из вскрышных пород при меньшей степени помола и усреднить их неоднородность;

- при этом физико-механические показатели изделий составляют - водопоглощение от 9,1 до 7,2 %, морозостойкость до 100 циклов, прочность при сжатии 47,5-54,2 МПа;

4 ФОРМИРОВАНИЕ КОНДЕНСАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ СУШКЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Процесс превращения коагуляционной структуры исходного материала в конденсационную во время сушки, а затем в кристаллическую при обжиге, является основой физико-механической технологии керамики. В этом процессе коагуляционная структура служит основой для конденсационной и кристаллической, сохраняя все характерные особенности исходной системы, такие как однородность, распределение контактов в объеме и ориентация частиц. Это объясняет эффект последствия, проявляющийся при формировании коагуляционных структур в процессе производства керамических изделий. Конденсационная структура формируется при постоянном изменении размеров изделий и удалении влаги. [113,114].

Основным технологическим требованием при сушке в производстве керамики является предотвращение образования трещин на поверхности изделий и предотвращение их деформации (коробления).

Образование трещин является основным дефектом при сушке, обусловленным деформациями материала из-за неравномерных полей влагосодержания и температуры. Установлено, что формирование трещин связано с избыточным давлением паров влаги внутри изделия вследствие интенсивного парообразования. Особенно опасными являются напряжения, вызванные различиями влагосодержания.

При поверхностном испарении влаги процесс сушки изделий по всему объему материала происходит тогда, когда влага перемещается от центра к поверхности. Это перемещение влаги обусловлено различными факторами и зависит от структуры изделия, взаимосвязи влаги с материалом и основных параметров сушки. Такими параметрами являются температура, относительная влажность и скорость теплоносителя.

4.1 Исследование сушильных свойств образцов на основе вскрышных пород угледобычи

Важным фактором в процессе сушки является оптимизация режима удаления влаги из сырца. Необходимо, чтобы напряжения, возникающие в результате усадочных деформаций, не превышали предел прочности материала изделия.

Была применена экспресс-методика, разработанная А.Ф. Чижским, для определения чувствительности глинистого сырья к процессу сушки. Этот метод основан на визуальном наблюдении момента, когда на образцах появляются трещины в процессе сушки. [115].

Проведены исследования, направленные на выявление способов регулирования сушильных свойств вскрышных пород путем изменения

конденсационной структуры образцов регулированием фракционных составов масс.

В процессе исследований разработаны фракционные составы с интервалами фракций: X1 = 0,5-0,25 мм; X2 = 0,25-0,125 мм; X3 ≤ 0,125 мм. Фракции были условно обозначены как 0,5 мм, 0,25 мм и 0,125 мм. Фракционные составы, из которых формировались образцы, были маркированы соответственно порядковым номером от 1 до 6, таблица 18.

Таблица 18 - Маркировка образцов из вскрышных пород угледобычи

| Наименование сырья | Вскрышные породы с горизонтом залегания: +50 м; +100 м; +150 м | | | | | |
|--------------------|--|---------|----------|-----------|---------|----------|
| | Аргиллит | | | Алевролит | | |
| фракции | 0,5 мм | 0,25 мм | 0,125 мм | 0,5 мм | 0,25 мм | 0,125 мм |
| номер состава | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |

Далее приведены результаты исследования сушильных свойств вскрышных пород, таблица 19.

Таблица 19 - Сушильные свойства вскрышных пород

| Порядковый номер состава | Критическая влажность, W _{кр} , % | Коэффициент чувствительности к сушке, $\frac{W_{\phi} - W_{кр}}{W_{кр}}$ | Период облущения до появления трещин, Z _о , с | Воздушная линейная усадка, % |
|--------------------------|--|--|--|------------------------------|
| Горизонт +50 м | | | | |
| 1 | 7,8 | 1,31 | 129 | 3,8 |
| 2 | 8,9 | 1,41 | 125 | 5,6 |
| 3 | 8,8 | 1,44 | 103 | 7,0 |
| 4 | 8,8 | 0,91 | 121 | 3,3 |
| 5 | 9,8 | 1,02 | 105 | 5,4 |
| 6 | 10,2 | 1,09 | 98 | 6,1 |
| Горизонт +100 м | | | | |
| 1 | 8,2 | 1,11 | 151 | 3,2 |
| 2 | 8,5 | 1,21 | 140 | 5,1 |
| 3 | 9,4 | 1,31 | 128 | 6,3 |
| 4 | 8,8 | 0,84 | 135 | 3,2 |
| 5 | 9,8 | 0,89 | 121 | 5,1 |
| 6 | 10,2 | 0,94 | 107 | 5,7 |
| Горизонт +150 м | | | | |
| 1 | 7,3 | 1,03 | 159 | 2,8 |
| 2 | 8,4 | 1,12 | 151 | 4,7 |
| 3 | 9,1 | 1,25 | 141 | 5,5 |
| 4 | 8,6 | 0,77 | 147 | 2,7 |
| 5 | 9,5 | 0,82 | 129 | 4,3 |
| 6 | 10,2 | 0,88 | 125 | 5,0 |

По коэффициенту чувствительности к сушке (K_c) отходы угледобычи относятся к категории с малой чувствительностью к процессу сушки. Время появления трещин при воздействии теплоносителя составляет 98-160 с.

С повышением степени измельчения пород от 0,5 до 0,125 мм характерно увеличение усадки в 1,7-2,1 раза для аргиллитов и в 1,5-1,7 раза для алевролитов. Воздушная усадка образцов из аргиллитов составляет 2,8-7,0%, из алевролитов 2,7-6,1%.

Уменьшение коэффициентов чувствительности к сушке, воздушной усадки и увеличение времени до появления трещин характерно при изменении глубины залегания пород от +50 до +150 м.

Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что вскрышные породы угледобычи обладают умеренной пластичностью и низкой чувствительностью к процессу сушки.

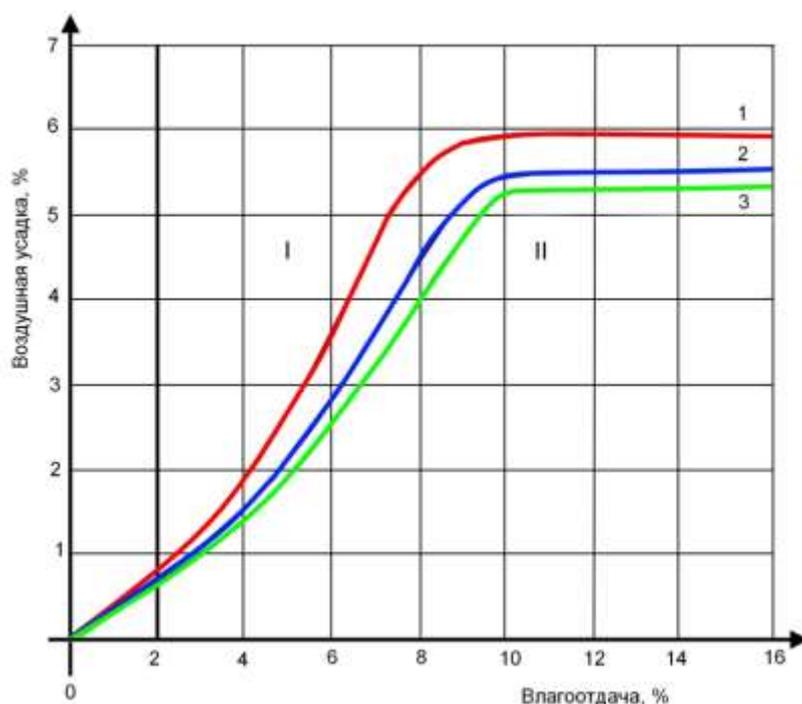
4.2 Регулирование сушильных свойств изделий из вскрышных пород угледобычи

Известно, [116], что уменьшение усадочных деформаций достигается при повышении влагопроводности и однородности структуры отформованных изделий.

Кинетику процесса сушки исследуемых отходов угледобычи изучали методом определения непрерывного изменения усадки и массы образцов. Зависимость усадки от влагоотдачи образцов из вскрышных пород различных горизонтов залегания оптимального фракционного состава представлены на рисунке 26.

Анализируя полученные кривые можно отметить, что в процессе сушки образцов при удалении капиллярной воды наблюдается возрастание усадки (область I), а при удалении поровой воды усадка стабилизируется и становится постоянной (область II). Точка перегиба кривых соответствует влагоотдаче, при которой усадочные деформации минимальны. Интервал влагоотдачи I области определяет критическую влажность образцов (завершение усадки).

Для вскрышных пород горизонта +50 м область стабилизации усадочных деформаций начинается при влагоотдаче 8,4%, у вскрышных пород горизонтов +100 и +150 м, завершение усадки происходит при влагоотдаче 7,9% и 7,5% соответственно.



1 – горизонт +50 м; 2 – горизонт +100; 3 – горизонт +150 м
 Рисунок 26- Зависимость воздушной усадки от влагоотдачи образцов из аргиллита

Анализируя результаты исследований можно констатировать, что увеличение содержания фракции 0,125 мм до 50% и фракции 0,5 мм до 30% снижает воздушную усадку образцов на 4-5% (таблица 20). Установлено, что при уменьшении содержания фракции 0,125 мм до 45-70% в процессе сушки уменьшаются усадочные деформации образцов. Подобраны оптимальные соотношения фракций для образования бездефектных конденсационных структур с учетом исследований коагуляционных структур масс из вскрышных пород. При этом уменьшается величина отношения $W_{кр}/W_{ф}$ в среднем от 0,5-0,6 до 0,3-0,4, что свидетельствует о более быстром достижении интервала постоянной усадки при сушке. По коэффициенту чувствительности к сушке вскрышных пород относятся к малочувствительному к сушке сырью.

Таблица 20 - Зависимость физико-механических свойств высушенных образцов от фракционного состава вскрышных пород угледобычи

| Порядковый номер состава | Формовочная влажность, $W_{отн}$ | Критическая влажность, $W_{кр}$ | Воздушная усадка, % | Кажущаяся пористость, % | Предел прочности на сжатие, МПа |
|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Горизонт +50 м | | | | | |
| 1 | 17,4 | 8,0 | 4,3 | 10,0 | 1,8 |
| 2 | 18,2 | 5,1 | 2,3 | 16,5 | 1,4 |

| | | | | | |
|-----------------|------|-----|-----|------|-----|
| 3 | 18,5 | 4,7 | 2,4 | 16,4 | 1,1 |
| 4 | 17,8 | 7,4 | 3,7 | 14,6 | 1,8 |
| 5 | 19,3 | 7,6 | 3,6 | 14,8 | 2,1 |
| 6 | 18,4 | 5,2 | 2,2 | 16,6 | 1,4 |
| Горизонт +100 м | | | | | |
| 1 | 17,6 | 7,2 | 3,3 | 13,1 | 3,3 |
| 2 | 18,2 | 3,2 | 0,8 | 16,2 | 1,6 |
| 3 | 18,6 | 2,2 | 0,7 | 18,0 | 1,2 |
| 4 | 18,4 | 5,3 | 2,3 | 14,5 | 2,8 |
| 5 | 18,9 | 4,9 | 2,4 | 14,0 | 2,0 |
| 6 | 18,5 | 2,6 | 0,8 | 15,9 | 1,5 |
| Горизонт +150 м | | | | | |
| 1 | 16,8 | 8,7 | 5,8 | 19,8 | 2,6 |
| 2 | 17,4 | 8,1 | 3,4 | 10,9 | 2,2 |
| 3 | 18,2 | 4,1 | 2,4 | 12,4 | 3,3 |
| 4 | 17,6 | 8,0 | 4,5 | 18,3 | 3,1 |
| 5 | 17,8 | 6,6 | 3,9 | 19,9 | 2,1 |
| 6 | 18,2 | 4,4 | 2,3 | 10,7 | 3,1 |

Снижение формовочной влажности и воздушной усадки достигается уменьшением содержания тонкодисперсной фракции отходов угледобычи до 0,125 мм. Снижение отношения $W_{кр}/W_{ф}$ обусловлено повышением доли поровой воды в массе, что подтверждается увеличением кажущейся пористости образцов на 2-3 %.

Однородность структуры высушенных изделий оценивалась по изменению значений кажущейся плотности вдоль изделия, где отмечались колебания на уровне 1-3%. При формовании образцов с использованием вакуума прочность высушенных изделий увеличивается в 1,5-2 раза за счёт большего уплотнения изделий (таблица 21).

Таблица 21 - Физико-механические свойства высушенных образцов из вскрышных пород оптимального фракционного состава

| Условия формования на прессе | Воздушная усадка, % | Предел прочности при сжатии, МПа | Пористость, % | Газопроницаемость, $K_a \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ | Плотность, кг/м^3 |
|------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------|---|----------------------------|
| Горизонт +50 м | | | | | |
| без вакуума | 2,5 | 1,9 | 15,9 | 18,1 | 1840 |
| с вакуумом | 1,6 | 3,5 | 14,3 | 1,4 | 1833 |
| Горизонт +100 м | | | | | |
| без вакуума | 1,1 | 2,1 | 16,0 | 24,4 | 1898 |
| с вакуумом | 0,8 | 2,8 | 15,4 | 2,0 | 1835 |
| Горизонт +150 м | | | | | |
| без вакуума | 3,4 | 1,9 | 9,9 | 8,1 | 1869 |
| с вакуумом | 3,0 | 3,4 | 9,7 | 1,1 | 1828 |

На основе результатов исследований, были откорректированы предыдущие ограничения фракционного состава вскрышных пород оптимальных по структурно-механическим свойствам. Это обеспечит получение керамических изделий с оптимальными формовочными и сушильными показателями (рисунок 27).

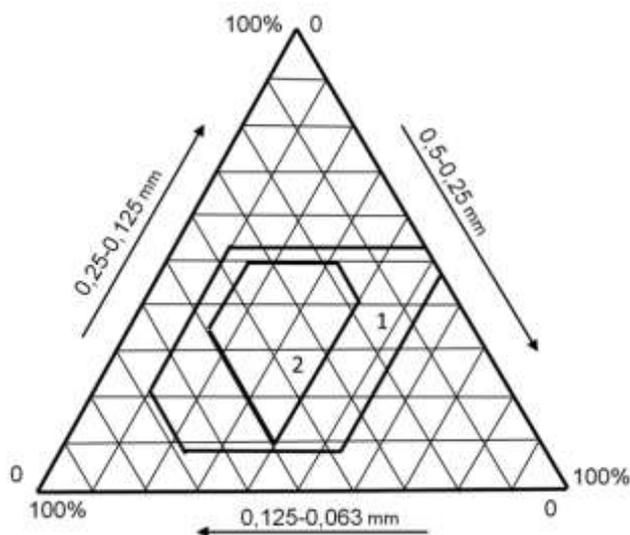


Рисунок 27- Диаграмма областей оптимального фракционного состава вскрышных пород, 1 - по структурно-механическим, 2 - по сушильным свойствам

Вскрышные пород по коэффициенту чувствительности к сушке (K_c) относятся к малочувствительным к сушке материалам. Подверженность трещинам при воздействии теплового потока проявляется в промежутке времени от 98 до 180 секунд, что также характерно для материалов, малочувствительных к сушке.

Выводы

Вскрышные породы измельченные до фракции менее 0,5 мм, характеризуются низкой чувствительностью к сушке.

Воздушная усадка изделий увеличивается в 1,5-2 раза при уменьшении размеров частиц вскрышных пород от 0,5 до 0,125 мм и менее.

Вакуумирование при формовании образцов приводит к увеличению прочности в 1,5-2 раза за счёт уплотнения материала.

Улучшение сушильных свойств образцов из вскрышных пород достигается регулированием их фракционного состава. Установлены оптимальные составы с высокими показателями сушильных свойств, фракции: 0,5-0,25 мм - 5-50%, 0,25-0,125 мм - 5-60%, 0,125-0,063 мм - 45-70%.

- образцы из масс на основе этих составов, отформованные на прессе с вакуумированием имеют значения воздушной усадки 0,8-3,0%, предел прочности на сжатие 2,8-3,5 МПа, пористость 9,7-15,4%, плотность 1828-1990 кг/м².

5 ФОРМИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ОБЖИГЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

Обжиг керамических изделий играет ключевую роль в получении качественной конечной продукции керамического производства. На этой стадии происходит спекание изделий, формирование кристаллизационной структуры и образование керамического черепка [117].

В настоящее время основное внимание в исследованиях фазовых превращений в процессе обжига керамических изделий уделяется глинам. Однако, остается недостаточно изученным влияние температуры обжига на изменения структуры изделий при фазовом переходе в отходах угледобычи. [118,119].

Поэтому, для оптимизации процесса обжига и более глубокого понимания механизмов минералообразования, проведены дополнительные исследования.

В процессе исследований были рассмотрены характеристики плавления отходов угледобычи, а также проведены дифрактометрический, дифференциально-термический и петрографический анализы образцов, обожженных при различных температурах. Такой подход позволил получить более полное представление о фазовых превращениях и изменениях структуры материала в процессе обжига.

Определены оптимальные режимы обжига, при которых достигается наилучшее качество готовых изделий из отходов угледобычи. Также было установлено, что при повышении температуры обжига происходит активное выгорание органических веществ, что влияет на фазовый состав и структуру материала. Оптимизация процесса обжига позволит повысить эффективность производства и улучшить качество готовых изделий. Кроме того, более глубокое понимание фазовых превращений и минералообразования поможет разработать новые технологии и материалы на основе этих отходов, что способствует устойчивому развитию и экологической эффективности производства.

Исследования проводились путем обжига образцов до максимальной температуры 950-1000 °С.

5.1 Исследование обжиговых свойств образцов из вскрышных пород угледобычи

С использованием нагревательного микроскопа МНО-2 исследована зависимость стадий деформации образцов от температуры, при нагреве до 1600 °С. Выявлены стадии: T_1 - температура начала деформации образцов, $T_{м.у.}$ - температура максимальной усадки образцов, $T_{м.в.}$ - температура максимального вспучивания образцов, T_2 - температура размягчения образцов, при которой образец образует полусферу, и T_3 - температура жидкоплавкого состояния образцов. Данные представлены в таблице 22.

Таблица 22 - Характеристики плавкости вскрышных пород угледобычи

| Наименование | $T_1, ^\circ\text{C}$ | $T_{\text{м.у.}}, ^\circ\text{C}$ | $T_{\text{м.в.}}, ^\circ\text{C}$ | $T_2, ^\circ\text{C}$ | $T_3, ^\circ\text{C}$ | Интервал спекания |
|------------------|-----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|
| Горизонт + 100 м | | | | | | |
| Аргиллит | 1050 | 1250 | 1470 | 1500 | 1550 | 220 |
| Алевролит | 1000 | 1240 | 1470 | 1580 | 1590 | 230 |

На рисунке 28 показано, что при температурах 1000-1050 °С происходит начало деформации образцов из аргиллитов и алевролитов, для всех горизонтов от+50 м до +150 м.

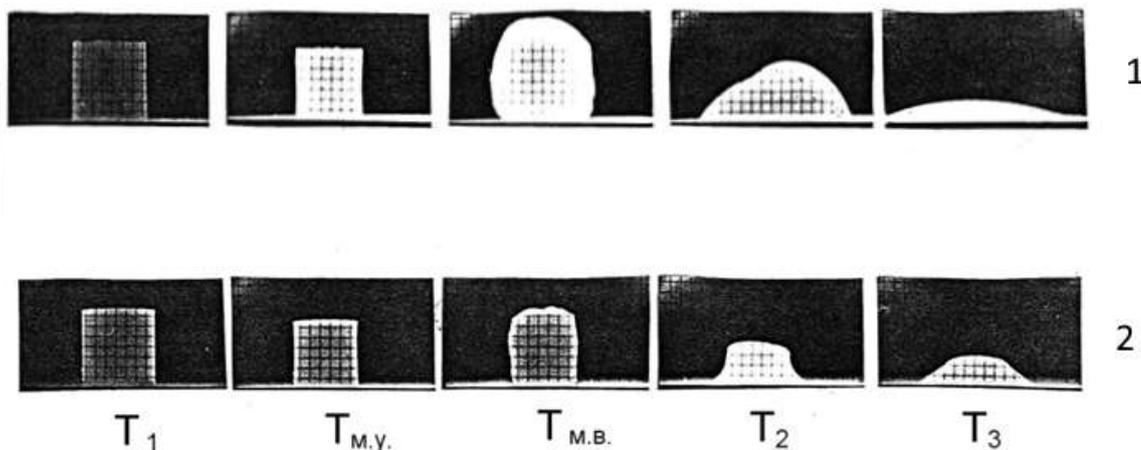


Рисунок 28 - Характеристики плавкости образцов: 1- аргиллит, 2- алевролит

При температурах 1240-1250 °С зафиксировано начало спекания образцов, интервал спекания составил 210-230 °С. По температура спекания, вскрышные породы относятся к группе сырья среднетемпературного спекания. Вспучивание образцов начинается при 1450-1470 °С. Температура размягчения образцов T_2 - 1500-1580 °С при которой образец начинает растекаться превращаясь в полусферу, можно считать показателем огнеупорности пород, так как еще не происходит плавление образцов. Вскрышные породы по этому показателю можно отнести к группе тугоплавкого сырья с показателем огнеупорности в пределах 1500-1580 °С. Температура T_2 - 1550-1590 °С, соответствует жидкоплавкому состоянию вскрышных пород.

Таким образом:

- вскрышные породы угледобычи проявляют термические эффекты, вызванные выделением гигроскопической и конституционной влаги, дегидратацией каолинита, преобразованием структуры минералов и образованием новых кристаллических фаз. Для всех пород отмечены процессы горения и разложения органического вещества, но у аргиллитов они более интенсивны;

- при температуре 1250-1460 °С происходят ключевые изменения структуры образцов из вскрышных пород при их обжиге;

- температура 1500-1580 °С соответствует показателю огнеупорности вскрышных пород, которые можно отнести к группе тугоплавкого сырья;
- на основании полученных данных можно судить о вскрышных породах как новом типе органоминерального сырья для возможного производства керамического кирпича.

5.2 Регулирование обжиговых свойств изделий из отходов угледобычи

Процессы структурообразования изучались при обжиге образцов из вскрышных пород до максимальных температур 950, 975 и 1000 °С со скоростью нагрева 100 °С в час.

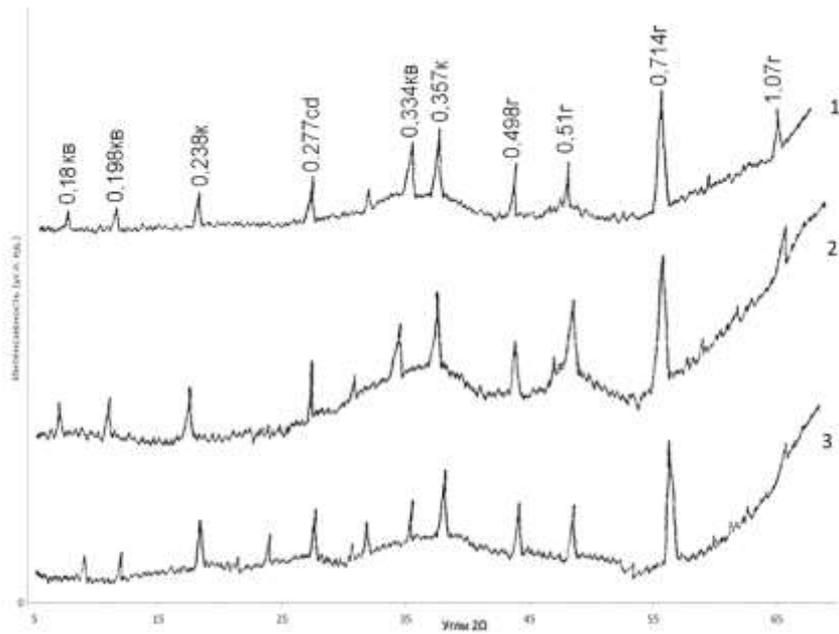
Дифрактометрическим и микроскопическим методами исследований изучались образцы, обожженные до определенных температур. При обжиге до 450 °С в образцах присутствуют неизменными глинистые минералы, кварц, полевые шпаты, оксиды и гидроксиды железа. Образцы имеют черную окраску в центре и темно-красную по краям. Это соответствует началу выгорания органического вещества. На рентгенограммах присутствуют рефлексы глинистых минералов, кварца, полевых шпатов, рисунок 29.

При нагреве образцов до 550-600 °С на рентгенограммах пропадают рефлексы каолинита, что говорит о дегидратации глинистых минералов, переходе каолинита в метакаолинит, рисунок 30.

При температуре 900 °С частицы кварца и полевого шпата начинают оплавляться. На рентгенограммах видны рефлексы кварца и полевого шпата ($d/n = 0,425; 0,334; 0,228; 0,212$ нм), начинают появляться пики гематита ($d/n = 0,269; 0,208$ нм) и крестобаллита ($d/n = 0,251$ нм).

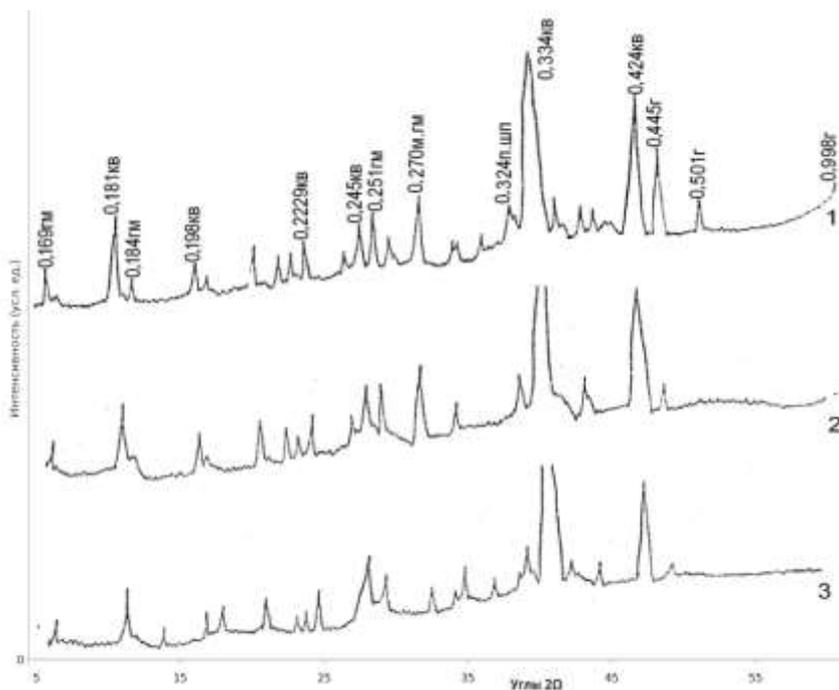
При температуре обжига до 975 °С происходит уплотнению структуры черепка, увеличение жидкой фазы и окончательное выгорание органического вещества. Присутствуют оплавленные зерна кварца и полевого шпата, видны кристаллы муллита. На рентгенограммах фиксируются рефлексы полевого шпата, кварца, муллита, гематита и крестобаллита.

При температуре обжига до 1000 °С проходит полное преобразование глинистых минералов, каолинита и гидрослюды. При этом происходит уплотнением образцов с уменьшением их размеров за счет увеличения жидкой фазы. На рентгенограммах присутствуют пики полевого шпата, кварца, муллита, гематита и крестобаллита (рисунок 32).



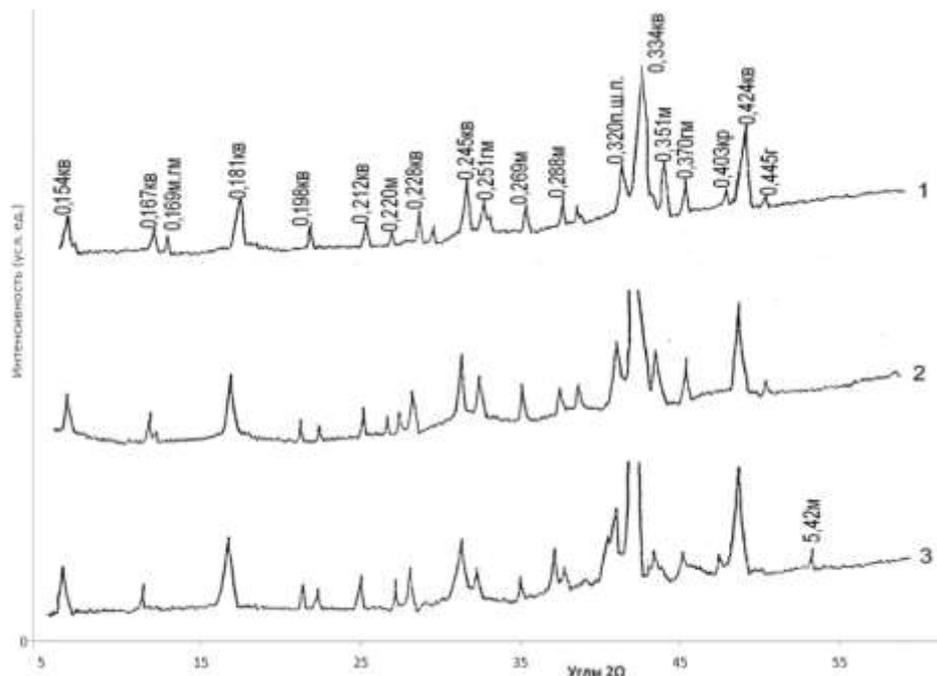
Условные обозначения: 1- горизонт +50 м; 2- горизонта +100 м; 3- горизонта +150 м, кв - кварц; к - каолинит; г - гидрослюда; сд – сидерит

Рисунок 29 - Рентгенограммы образцов из аргиллитов, температура 450 °С



Условные обозначения: 1- горизонт +50 м; 2- горизонт +100 м; 3- горизонт +150 м, кв - кварц; к - каолинит; г - гидрослюда; гм – гематит; п.ш. – полевоы шпат

Рисунок 30 - Рентгенограммы образцов из аргиллитов, температура 600 °С



Условные обозначения: 1- горизонт +50 м; 2- горизонт +100 м; 3- горизонт +150 м; кв - кварц; м - муллит; гм - гематит; кр- кристобаллит
 Рисунок 31- Рентгенограммы образцов из аргиллитов, температура 950 °С

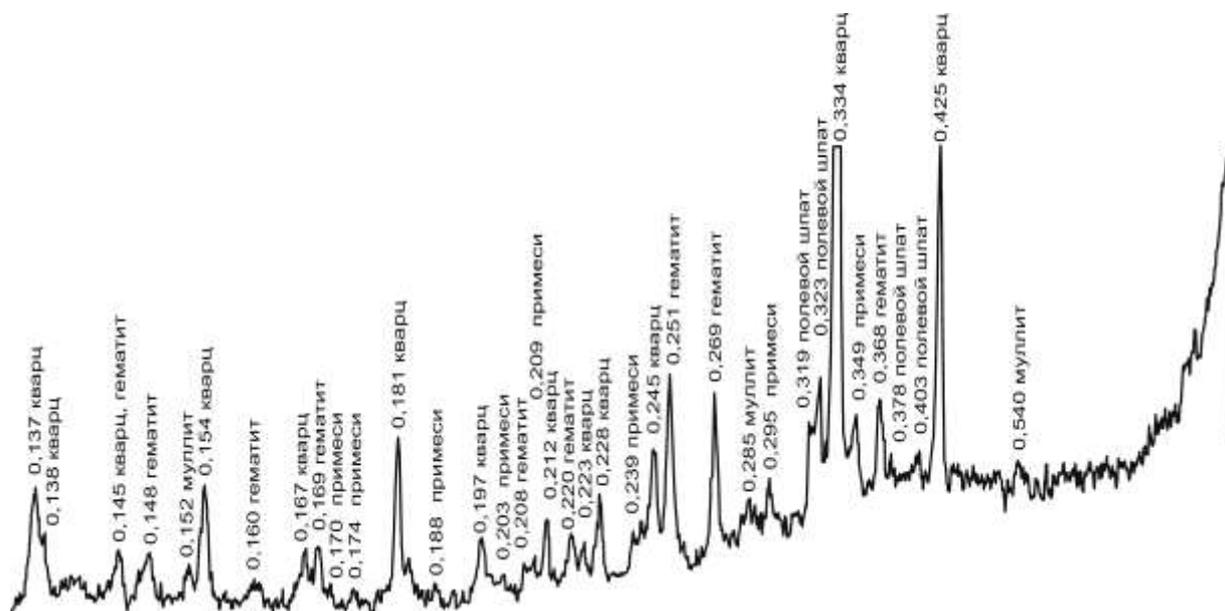


Рисунок 32 – Рентгенограмма образцов из аргиллитов, температура 1000 °С

Анализируя полученные данные можно констатировать, что при температуре 950 °С происходит увеличение жидкой фазы и полное выгорание органических веществ. Происходит спекание черепка и образуются новые кристаллические фазы кристобаллит., гематит, муллит. Это положительно отражается на

физико-механических характеристика образцов из вскрышных пород угледобычи в сторону увеличения.

Дополнительно к применению рентгеновской дифрактометрии, проводились исследования с использованием инфракрасной спектроскопии поглощения для анализа аргиллитов вскрышных пород. Эти исследования опирались на международные базы данных по кристаллографии и кристаллохимии минералов и их аналоговых структур. (рисунок 33).

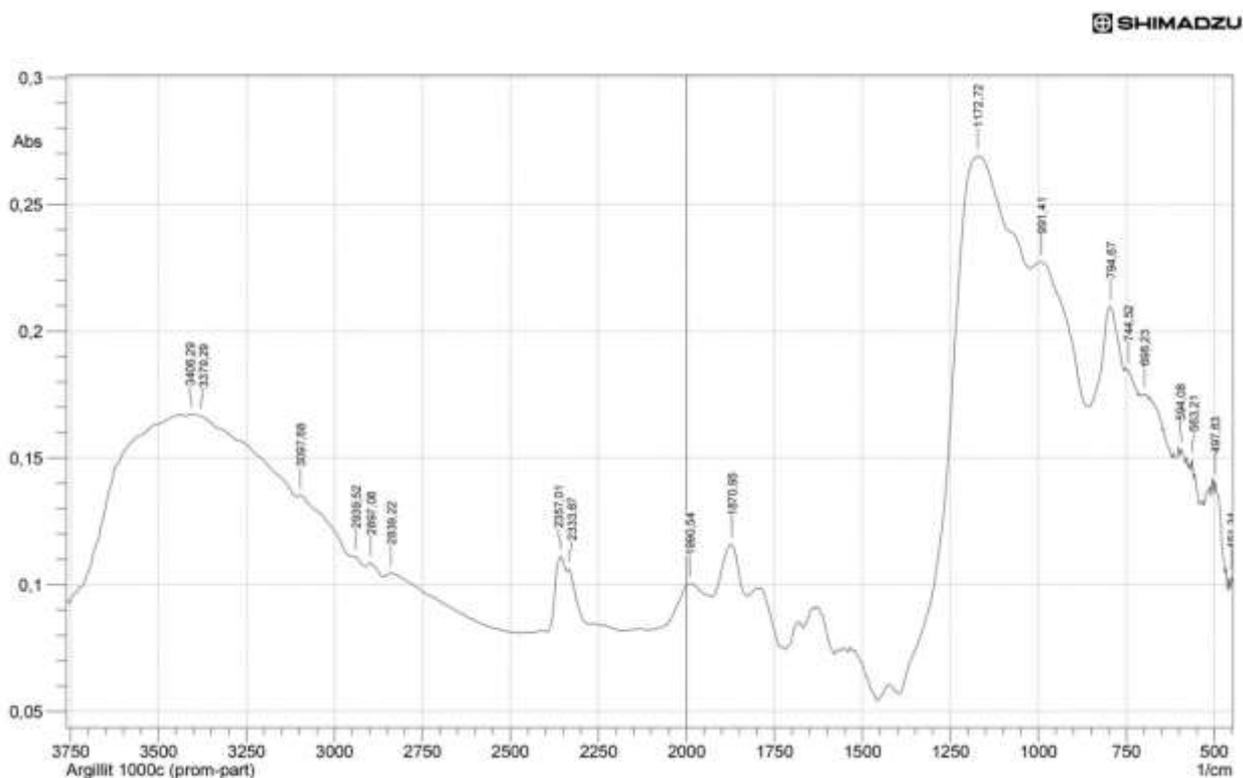


Рисунок 33 - Инфракрасные спектры поглощения обожженных при 1000 °С углистых аргиллитов вскрышных пород

В областях низких и средних частот спектра наблюдаются участки поглощения, которые типичны для кварца, полевого шпата и гематита. По пикам 563, 1170 cm^{-1} идентифицируется пелитовая структура.

Полученные результаты подтверждают необходимость обжига керамических изделий из вскрышных пород по режиму, предусматривающему изотермическую выдержку в области температур оптимальной скорости выгорания органического вещества. О необходимости обжига изделий по такому режиму свидетельствуют также результаты микроскопического изучения образцов. В образцах, обожженных при 900 °С органическое вещество отмечается по всей массе в небольших зернах. При температуре 975 °С органическое вещество в образцах отсутствует. С увеличением температуры обжига до 1000 °С (рисунок 34,35) органическое вещество фиксируется в небольших зернах. Цвет его более

светлый, что свидетельствует о повышении степени его углефикации при нагревании в условиях практического отсутствия кислорода.

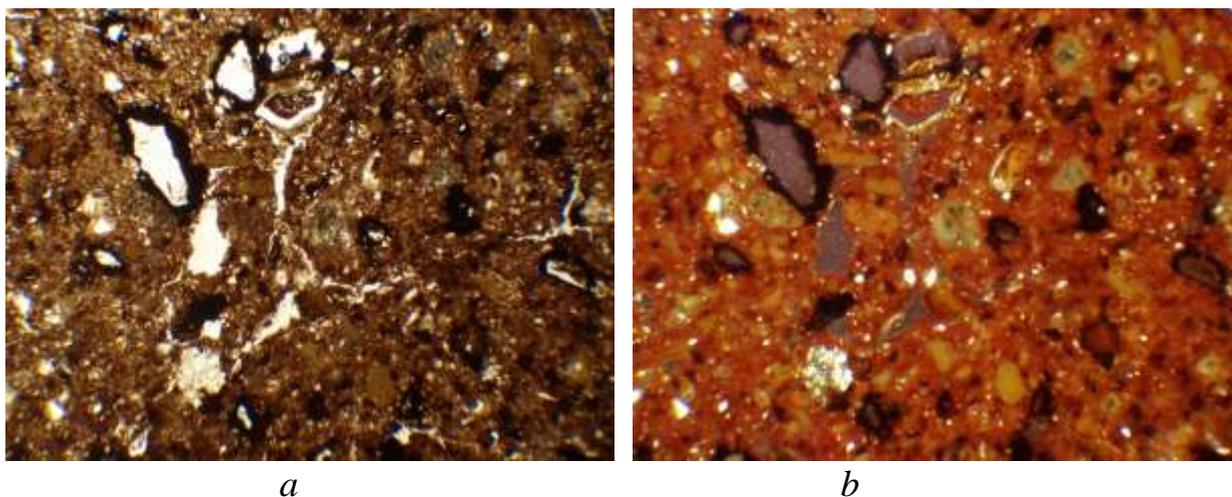


Рисунок 34 – Микрофотографии структуры аргиллитов горизонта +50 м (a); +100 м (b), обожженных при 1000 °С. Шлиф, проходящий свет: 25× николи +

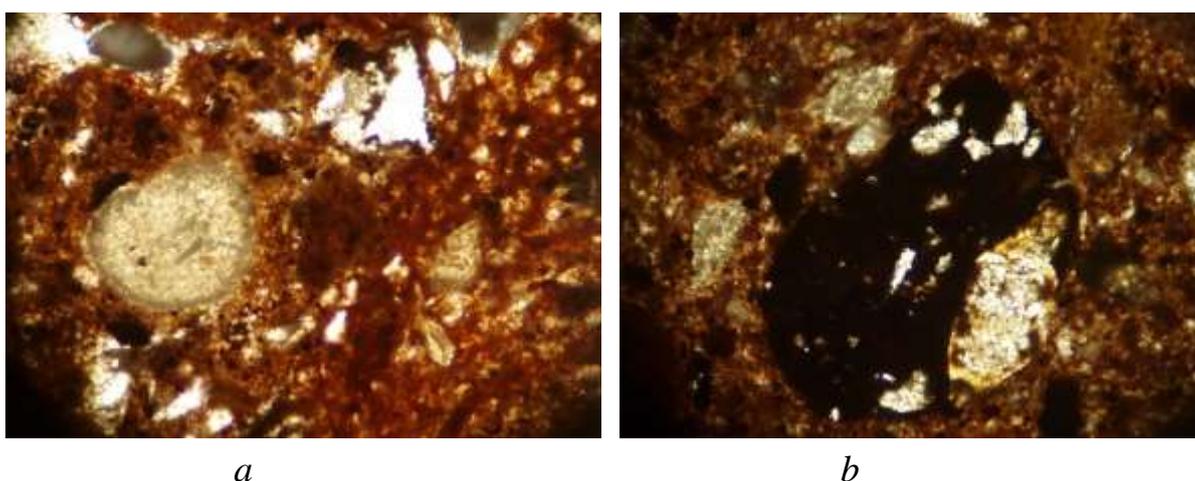
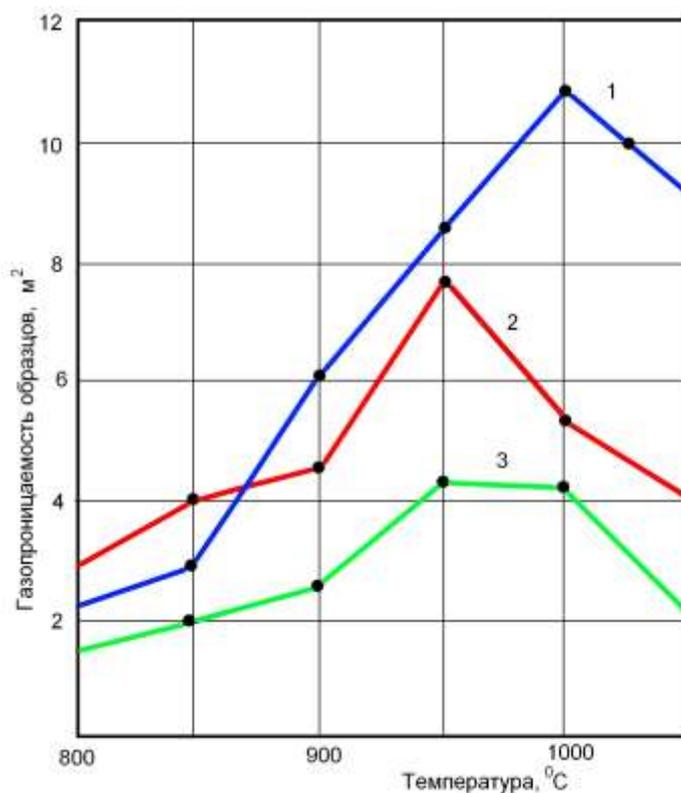


Рисунок 35 – Микрофотографии структуры алевролитов горизонта +50 м (a); +100 м (b), обожженных при 1000 °С. Шлиф, проходящий свет: ; 75×, николи II (a); 150× николи + (b)

Экстремальный характер изменения скорости выгорания углерода в зависимости от температуры обусловлен, прежде всего, изменением газопроницаемости образцов при обжиге. По мере повышения температуры до 950-1000° С (рисунок 36) газопроницаемость увеличивается за счет образования пор от выгорания углерода. В соответствии с результатами предыдущего эксперимента в этом интервале выгорает основная масса органического вещества. Газопроницаемость при этом увеличивается от $1-1,5 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ до $2-4 \cdot 10 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ для аргиллитов горизонта +150 м. Для аргиллитов горизонта +50 м и +100 м газопрони-

цаемость изменяется в более широком пределе от $2,5-3 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ до $8-11 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$. Дальнейшее повышение температуры до $1000-1050^\circ \text{ С}$ приводит к снижению газопроницаемости, что указывает на интенсивное спекание образцов с участием жидкой фазы.

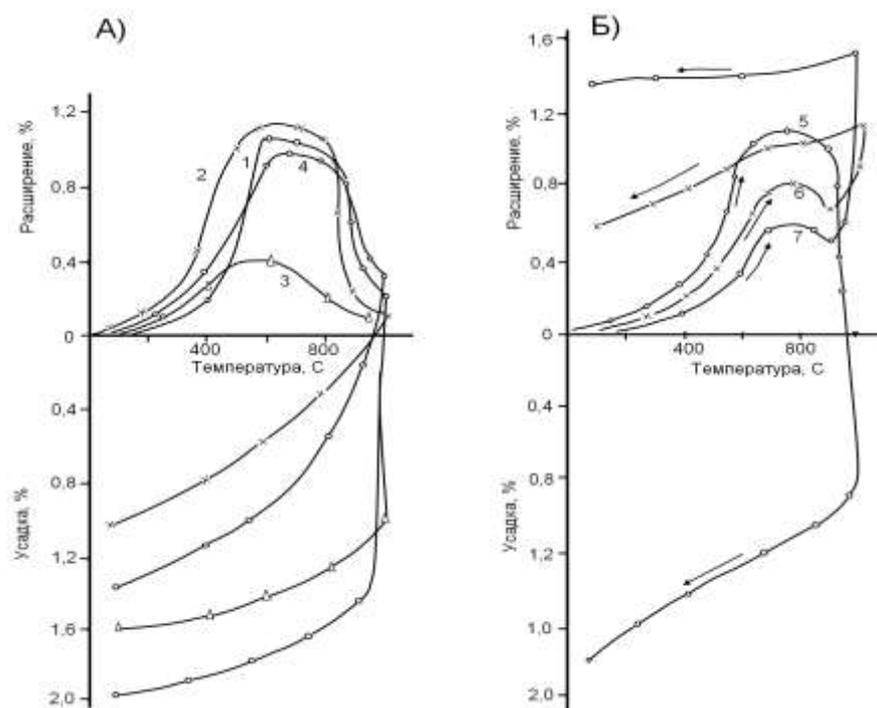


1 – горизонт +50 м; 2 – горизонт +100 м; 3 – горизонт +150 м

Рисунок 36 - Газопроницаемость образцов из аргиллитов в зависимости от температуры обжига

Газопроницаемость образцов повышается за счет выгорания органических веществ и при техническом расширении и усадке материала. [120,121].

Экспериментальные данные показывают (рисунок 37), что в интервале температур $200-850^\circ \text{ С}$ образцы расширяются растягивающими напряжениями, возникающими в результате термического расширения массы при нагревании за счет подъема температуры в печи и за счет горения органического вещества в отходах угледобычи.



1 - горизонт +50 м, 2 - горизонт +100 м, 3 - горизонт +150 м, 5 - фракция 0,125-0,063 мм, 6 - фракция 0,25-0,125 мм, 7 - фракция 0,5-0,25 мм

Рисунок 37 - Дилатометрические кривые измельченных вскрышных пород оптимального фракционного состава (а) и отдельных фракций (б)

В интервале температур до 800 °С расширение образцов затормаживается за счет уплотнения кристаллических решеток каолинита и гидрослюда в результате дегидратации. При последующем увеличении температуры до 900 °С наблюдается интенсивная усадка, которая замедляется в интервале 950-1000 °С, а затем снова нарастает (кривые 1, 2, 3, 4). Замедленные усадки образцов соответствуют температурному интервалу максимальной газопроницаемости.

По приведенным рентгенограммам (рисунок 28-30) видно, что при обжиге образцов процесс газообразования в краевой и центральной зонах протекает идентично. При 900 °С заканчивается аморфизация гидрослюд и начинается образование муллита, гематита и кристобаллита

При повышении температуры до 950-1000 °С увеличивается содержание и кристаллическая структура муллита, что подтверждается увеличением интенсивности и количества его линий на рентгенограммах. (рисунок 30), Образование кристаллических фаз способствует повышению прочности образцов.

Для установления особенностей минералообразования в керамических материалах из углеотходов при обжиге проведен анализ интенсивностей дифракционных максимумов основных минеральных фаз и косвенно оценивалось количественное содержание новообразований в образцах, обожженных при температуре 950°С (таблица 23).

Таблица 23 - Минералогический состав керамических образцов из аргиллитов после обжига

| Наименование сырья | Терригенный материал | | Вновь образованные минералы | | |
|--------------------|----------------------|-------------|-----------------------------|-------------|---------|
| | кварц | полево-шпат | муллит | кристобалит | гематит |
| аргиллит | | | | | |
| горизонт +50 м | + | + | + | + | - |
| горизонт +100 м | + | + | + | + | + |
| горизонт +150 м | + | + | + | + | - |

Выявлено, что основной структурообразующей фазой в образцах из отходов угледобычи является муллит, первые кристаллы которого появляются уже при 850°C. Интенсивность дифракционных максимумов муллита, почти в два раза больше, чем у гематита и кристобалита.

Выдержка образцов при максимальной температуре обжига способствует не только полному выгоранию органических веществ, но к усилению процесса мулитообразования [122-125]. Наблюдается рост кристаллов муллита с превращением твердофазовых зародышей в длинные и тонкие иглы, которые в дальнейшем образуют сетку армирующую образец, что обеспечивает ему высокие прочностные характеристики. Полученные данные подтверждаются результатами петрографических исследований.

Упрочнению образцов способствует также образование стекловидной фазы, цементирующей спекающиеся частицы и покрывающей поверхность пор [126]. Спекание образцов с участием жидкой фазы начинается в интервале 850-900 °C для аргиллитов горизонтов +50 м и +150 м и в интервале 900-950 °C для аргиллита +100 м.

С увеличением температуры до 950-1000 °C происходит избыточное накопление жидкой фазы, сопровождающееся снижением прочности. Следовательно, наиболее подходящая температура обжига образцов из вскрышных пород должна быть в пределах от 950 до 1000 °C.

Оптимальная скорость нагрева для обжига изделий из вскрышных пород угледобычи составляет 100 градусов в час до достижения 800 °C и 20 градусов в час до максимальной температуры.

Основным параметром, который определяет ключевые технологические аспекты термической обработки керамических изделий из вскрышных пород, является завершенность формирования кристаллической структуры изделий при полном выгорании органического материала. Анализируя характеристики формирования кристаллической структуры обожженных образцов из оптимально подобранных вскрышных пород угледобычи, можно привести температурные интервалы физико-химических процессов происходящих при обжиге керамических изделий из вскрышных пород (таблица 24).

Таблица 24 - Физико-химические процессы при обжиге

| Наименование физико-химического изменения | Температура, °С | | |
|---|-----------------|---------------|--------------|
| | аргиллит | | |
| | горизонт +150 | горизонт +100 | горизонт +50 |
| Выделение низкотемпературной воды | 90-200 | 90-190 | 90-100 |
| Горения органического вещества | 270-390 | 250-380 | 250-380 |
| Выделение среднетемпературной конституционной воды | 520-630 | 480-630 | 540-620 |
| Воспламенение и горение органического вещества | 450-790 | 450-780 | 430-700 |
| Выделение высокотемпературной воды | 740-800 | 720-810 | 760-800 |
| Выгорание органического вещества | 920-975 | 910-950 | 850-950 |
| Начало образования жидкой фазы | 930 | 910 | 860 |
| Кристаллизация новообразований с участием жидкой фазы | 980-1000 | 970-990 | 960-990 |

Для оптимизации параметров обжига керамических изделий из вскрышных пород температуру обжига изменяли в пределах от 950 до 1000 °С, продолжительность выдержки при максимальной температуре составляла 2 часа. Для проведения испытаний использовали образцы-диски диаметром 50 мм и толщиной 10 мм (рисунок 38). Фракционный состав отходов угледобычи соответствовал ранее ограниченному составу, оптимальным по структурно-механическим и сушильным свойствам.

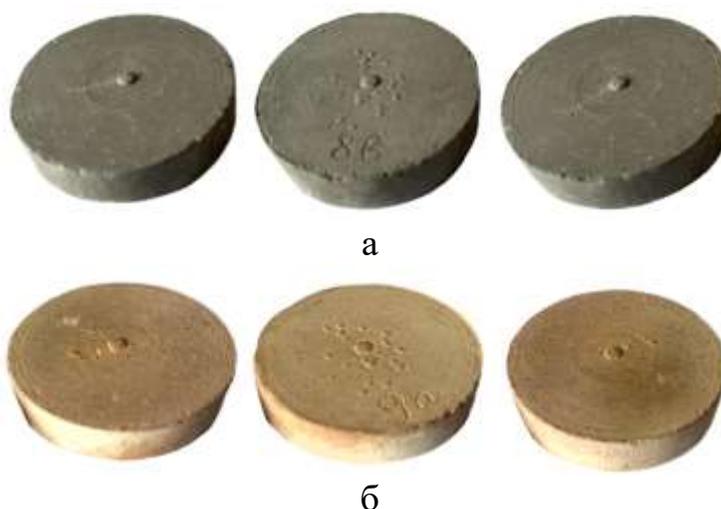


Рисунок 38 – Отформованные (а) и обожженные (б) образцы из аргиллита горизонта +50, +100, +150 м

Физико-механические характеристики образцов из вскрышных пород угледобычи приведены в таблице 25.

Таблица 25 - Физико-механические характеристики образцов

| Наименование сырья | Макс. тем-ра обжига, °С | Общая усадка, % | Предел прочности при сжатии, МПа | Водопоглощение, % | Морозостойкость, циклов |
|--------------------|-------------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Горизонт +100 | | | | | |
| Аргиллит | 950 | 4,50 | 22 | 12,3 | 50 |
| | 975 | 4,62 | 28 | 11,5 | 75 |
| | 1000 | 4,80 | 31 | 8,6 | 75 |
| Алевролит | 950 | 3,60 | 19 | 12,4 | 35 |
| | 975 | 3,72 | 23 | 11,2 | 50 |
| | 1000 | 3,81 | 26 | 10,8 | 75 |

Физико-механические испытания обожженных образцов позволили установить, что наиболее высокие прочностные характеристики имеют образцы, обожженные до 1000°С. Морозостойкость составила 35-75 циклов попеременного замораживания и оттаивания без признаков разрушения (отслоение и шелушение). Отличительной особенностью режима обжига является замедление скорости нагрева изделий в интервале выгорания органического вещества (800-975 °С). Максимальная температура обжига принята 1000 °С, продолжительность изотермической выдержки - 2 часа.

На основании проведенных исследований принята скорость подъема температуры 100 град/ч, до 800°С и 20 град/ч, до максимальной температуры 1000°С.

5.3 Исследование физико-механических и эксплуатационных свойств керамических изделий из вскрышных пород угледобычи

Физико-механические и эксплуатационные свойства керамических изделий из вскрышных пород угледобычи, обожженных до максимальной температуры 950-1000 °С, исследованы в лабораторных условиях. Данные приведены в таблице 26..

Для образцов, обожженных при 950-975 °С при насыщении водой характерно снижение их прочности на 2-5%. При обжиге до 1000 °С отмечается снижение их прочности на 18-20%. При испытании образцов на морозостойкость после 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания снижение прочности составляет 4-6%,

Таблица 26 - Изменение предела прочности на сжатие обожженных образцов из вскрышных пород (аргиллитов)

| Наименование сырья | Температура обжига | Предел прочности на сжатие, МПа | | | | | | |
|--------------------|--------------------|---------------------------------|-----------------------|--|------|------|------|------|
| | | до насыщения водой | после насыщения водой | при замораживании и оттаивании в течение, циклов | | | | |
| | | | | 15 | 25 | 50 | 70 | 100 |
| Горизонт + 50 | 950 | 18,1 | 18,0 | 17,2 | 16,7 | 16,5 | 16,5 | 16,5 |

| | | | | | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 975 | 18,7 | 18,5 | 18,2 | 17,6 | 17,6 | 17,6 | 17,6 |
| | 1000 | 17,5 | 12,1 | 12,1 | 11,4 | 11,2 | 10,8 | 10,5 |
| Горизонт + 100 | 950 | 29,9 | 29,1 | 28,7 | 28,5 | 28,4 | 28,4 | 28,4 |
| | 975 | 30,5 | 30,0 | 29,7 | 29,5 | 29,5 | 29,4 | 28,4 |
| | 1000 | 27,6 | 21,5 | 20,2 | 19,4 | 19,1 | 18,6 | 18,2 |
| Горизонт + 150 | 950 | 21,1 | 20,8 | 20,5 | 20,4 | 20,3 | 20,3 | 20,3 |
| | 975 | 22,0 | 21,5 | 21,2 | 21,0 | 21,0 | 21,0 | 21,0 |
| | 1000 | 20,9 | 16,4 | 15,1 | 14,3 | 13,8 | 13,6 | 12,7 |

В ходе исследований водопоглощения образцов из аргиллитов обнаружено, что при обжиге до 950 °С образуется керамический черепок имеющий водопоглощение от 8,9% до 10,5%. При температуре обжига до 975 °С водопоглощение составляет от 7% до 10%. При температуре обжига до 1000 °С водопоглощение снижается до 8,4-8,6%. Для образцов из аргиллита горизонта +50 м, при обжиге до 950° С характерно образование черепка с водопоглощением в пределах от 9,8% до 13,6% и небольшой водонепроницаемостью. Характеристики образцов после обжига приведены в (таблице 27).

Таблица 27 - Характеристики образцов после обжига

| Наименование сырья | Максимальная температура обжига, °С | Характеристика образцов после обжига | | |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|-------------------|
| | | цвет | наличие трещин | наличие включений |
| Аргиллит Горизонт +50 м | 950 | оранжевый | незначительные волосяные трещины | нет |
| | 975 | | | |
| | 1000 | | | |
| Горизонт +100 м | 950 | светло-розовый | не отмечены | нет |
| | 975 | | | |
| | 1000 | | | |
| Горизонт +150 м | 950 | оранжевый | незначительные трещины | нет |
| | 975 | | | |
| | 1000 | | | |

Установлено, что исследуемые образцы не содержат вредных карбонатных включений, имеют керамический черепок оранжевого или светло-розового цвета без пятен с незначительными трещинами после обжига при температуре 1000 °С (образцы из вскрышных пород горизонтов +50 и +150 м).

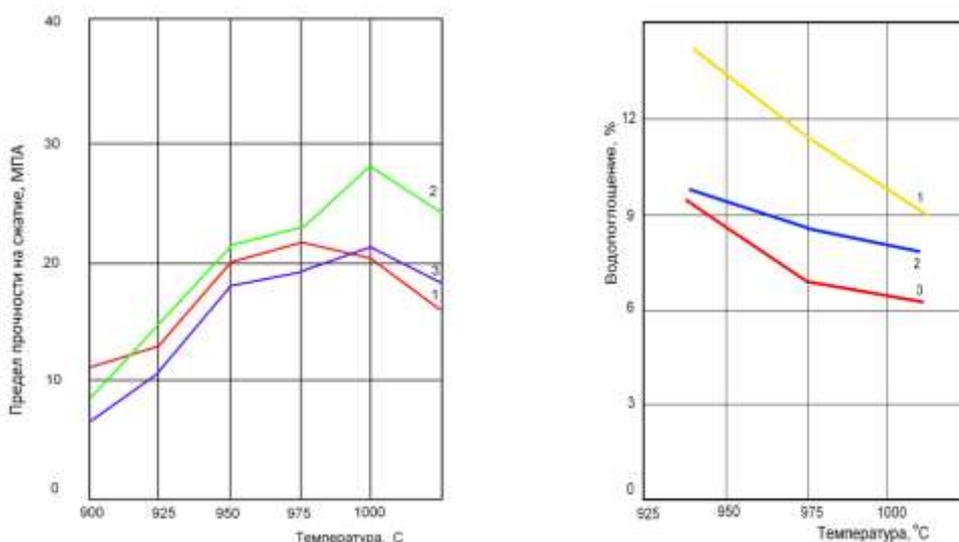
Результаты определения физико-механических свойств приведены в (таблице 28).

Таблица 28 - Физико-механические свойства обожженных образцов

| Наименование сырья | Максимальная температура обжига, °С | Общая усадка, % | Предел прочности при сжатии, МПа | Водопоглощение, % | Морозостойкость, циклов |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Горизонт +50 | 950 | 4,50 | 19,6 | 9,6 | 35 |
| | 975 | 4,62 | 21,8 | 9,2 | 35 |
| | 1000 | 4,80 | 20,4 | 8,6 | 35 |

| | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|----|
| Горизонт +100 | 950 | 3,60 | 20,6 | 10,5 | 50 |
| | 975 | 3,72 | 22,1 | 7,0 | 75 |
| | 1000 | 3,81 | 27,5 | 8,4 | 75 |
| Горизонт +150 | 950 | 5,12 | 18,7 | 8,9 | 50 |
| | 975 | 5,25 | 19,2 | 10,0 | 50 |
| | 1000 | 5,44 | 20,4 | 8,5 | 50 |

Физико-механические испытания обожженных образцов позволили установить, что наиболее высокие прочностные характеристики имеют образцы, обожженные до 975°C. Морозостойкость составила 75 и более циклов попеременного замораживания и оттаивания без признаков разрушения (отслоение и шелушение). Выявлено, что наиболее высокие физико-механические показатели имеют образцы из аргиллитов горизонта +100 м, (рисунок 39).



1 - аргиллит +50 м, 2 - аргиллит +100 м, 3 - аргиллит +150 м,

Рисунок 39 - Изменение предела прочности при сжатии (а) и водопоглощения (б) образцов из аргиллитов

На основе результатов проведенных исследований разработан режим обжига керамических изделий вскрышных пород. Отличительной особенностью режима обжига является замедление скорости нагрева изделий в интервале выгорания органического вещества (800-975 °C). Максимальная температура обжига 975-980 °C, продолжительность изотермической выдержки - 2 часа.

В результате исследований процессов формирования кристаллизационной структуры образцов из вскрышных пород разработан режим обжига и предложены решения, для оптимизации технологических параметров термической обработки.

5.4 Влияние добавок на показатели качества керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи при пластическом формовании

Регулировать структуру и свойства керамических масс в процессе их обработки можно с помощью разнообразных добавок, что дает возможность значительно изменить их структурно-механические характеристики. Органические и пластифицирующие добавки оказывают положительное воздействие на формовочные и структурно-механические свойства масс.

Изучено влияние высокоминерализованных углистых пород и технического оксихлорида алюминия на качественные показатели изделий из вскрышных пород угледобычи.

Углистые породы с высоким содержанием минералов предварительно измельчали до размеров менее 0,125 мм и добавляли в смеси в количестве от 4 до 12% (таблица 29). Углистые сланцы, оказывают влияние на реологические свойства масс, что обусловлено прежде всего наличием в углях смоляных и битумных компонентов, которые играют роль коагулянтов, способствуя формированию однородной и более пластичной массы.

Смоляные и битумные вещества, присутствующие в углистых породах, обладают способностью коагулировать, что означает, что они способны объединяться с другими веществами, обеспечивая стабилизацию и однородность состава массы. Это приводит к снижению пластической вязкости масс на 6-13%, что в свою очередь повышает их подвижность и способствует легкости формования. Одновременно с уменьшением пластической вязкости происходит снижение пластической прочности на 18-23%, что делает массы менее жесткими. Эти изменения привели к уменьшению жесткости и благоприятно сказались на формовочной способности масс. Использование высокоминерализованных углистых пород позволило улучшить формовочные свойства масс, снизить водопоглощение изделий, а также повысить их физико-механические показатели.

Для улучшения структурно-механических характеристик масс, полученных из вскрышных пород, применяли высокоосновной технический оксихлорид алюминия $[Al(OH)_{3-x}Cl_x]_n$. Сырьевые смеси, увлажняли водой, содержащей добавку оксихлорида алюминия в количестве от 3 до 7% до достижения нормальной формовочной влажности (таблица 29).

При изучении влияния оксихлорида алюминия на структурно-механические свойства масс из вскрышных пород, выявлено, что механизм воздействия оксихлорида алюминия идентичен для всех литологических типов пород и не зависит от глубины их залегания [127,128].

Добавка оксихлорида алюминия в массу приводит к снижению пластической вязкости на 40% и пластической прочности на 20-25%. Эти изменения делают массы более податливыми и приближают их показатели пластичности к уровню, характерному для хорошо формирующихся масс.

Таблица 29 - Составы сырьевых смесей, содержащие добавки

| Компоненты | Содержание компонентов в смеси, масс., % | | | | | |
|---|--|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Вскрышная порода угледобычи | 96 | 92 | 88 | 97 | 95 | 93 |
| Высокоминерализованные углистые породы с содержанием смоляных и битумных веществ 3-9% | 4 | 8 | 12 | | | |
| Технический оксихлорид алюминия | | | | 3 | 5 | 7 |

Отмечено перераспределение в соотношении деформаций в сторону преобладающего развития пластических деформаций, что свидетельствует о принадлежности масс первому структурно-механическому типу.

Физико-механические показатели полученных изделий представлены в таблице 30.

Таблица 30 – Физико-механические показатели полученных изделий

| № составов | Содержание компонента в массе, % | | | Предел прочности при сжатии, МПа | Водопоглощение, % | Морозостойкость, цикл |
|------------|----------------------------------|-----------------|--|----------------------------------|-------------------|-----------------------|
| | Вскрышная порода, аргиллит | Углистая порода | Оксихлорид алюминия $[Al(OH)_{3-x}Cl_x]_n$ | | | |
| 1 | 96 | 4 | | 42,0 | 10,8 | 58 |
| 2 | 92 | 8 | | 48,2 | 9,2 | 72 |
| 3 | 88 | 12 | | 44,0 | 9,6 | 64 |
| 4 | 97 | | 3 | 34,2 | 8,2 | 62 |
| 5 | 95 | | 5 | 33,6 | 7,4 | 68 |
| 6 | 93 | | 7 | 36,4 | 7,0 | 75 |

Влияние оксихлорида алюминия на физико-механические показатели полученных изделий проявляется в снижении водопоглощения от 8,2 до 7,0 %, увеличения прочности при сжатии на 10-12 %. Изделия с содержанием оксихлорида алюминия выдерживают до 75 циклов попеременного замораживания и оттаивания и обладают хорошим внешним видом.

5.5 Исследование свойств керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи при жестком способе формования

В ходе оптимизации рецептуры масс и технологических параметров производства необходимо обеспечить ряд требований, предъявляемых к готовой продукции (прочность, морозостойкость, плотность, цвет, водопоглощение, теплопроводность), а также снизить затраты. Обычно улучшение одного показателя за счет введения модификатора сопровождается ухудшением других показателей. Поэтому поиск доступных модификаторов и рецептуры сырьевой смеси с

минимальной чувствительностью к условиям формования, сушки и обжига является актуальной и сложной научно-технической задачей.

Определенную сложность представляет неоднородность основного сырья - вскрышных пород угледобычи, имеющих различный литологический тип и добываемых на различных горизонтах залегания, что требует постоянной корректировки состава, рецептуры сырья и технологических параметров производства.

Исследования были проведены с целью разработки универсального состава материалов для изготовления керамического кирпича, который включает вскрышные породы угледобычи, глину, и дополнительные компоненты - добавки, такие как отходы производства хлористого алюминия. Целью этой работы является улучшение качества готовых изделий, сокращение энергозатрат и упрощение производственных процессов.

Задача, поставленная перед нами, была решена с использованием предлагаемого состава сырьевой смеси для изготовления строительных керамических изделий. Этот состав включает в себя вскрышные породы угледобычи, глину и дополнительные компоненты, такие как отходы от производства хлористого алюминия - оксихлорида алюминия $[Al(OH)_{3x}Cl_x]_n$, где $x=0,5;1,0;1,5$, $n=2$.

Сырье измельчали до фракции менее 1-2 мм, что сократило энергозатраты на помол сырья, вводили 11-12% легкоплавкой глины и модификатор, отход производства хлористого алюминия 8-9% при следующем соотношении компонентов, мас. %:

- вскрышные породы угледобычи – 80;
- глина – 11-12;
- отход производства хлористого алюминия – 8-9.

Технология изготовления сырьевой смеси для получения керамических строительных материалов на основе вскрышных пород состоит в следующем:

- для создания сырьевой смеси, вскрышные породы угледобычи и глину смешивают совместно, подвергая их общему измельчению до получения частиц размером менее 1-2 мм. Затем данную смесь увлажняют водой с добавлением модификатора - отхода производства хлористого алюминия $[Al(OH)_{3x}Cl_x]_n$, до нормальный формовочной влажности -14%.

- изделия формируются жестким способом формования;
- сушка составляет 8-10 часов,
- обжиг производится при 980 °С.

Отличием от предыдущих исследований является то, что предлагается степень измельчения сырья доводить до фракции менее 1-2 мм, т.е более крупной фракции, что сократит энергозатраты на помол сырья, введение 11-12% легкоплавкой глины и модификатора, отхода производства хлористого алюминия 8-9%. При этом снижается формовочная влажность, улучшается пластичность сырьевой смеси, что приводит в итоге к увеличению прочности на сжатие, изгиб и повышению морозостойкости готовых изделий, таблица 31.

Таблица 31 – Характеристики изготовленных керамических изделий

| Наименование параметров | Показатели |
|--------------------------------------|-------------|
| Средняя плотность, кг/м ³ | 1450 – 1570 |
| Водопоглощение, % | 7,2 – 9,1 |
| Прочность на сжатие, МПа | 47,5 – 54,2 |
| Прочность на изгиб, МПа | 4,2 – 4,6 |
| Морозостойкость, цикл | 100 |

Введением глины и добавки, так же устраняется неоднородность сырья (вскрышных пород угледобычи различных литологических типов и горизонтов залегания), что очень актуально.

Изделия предлагается производить по жесткому способу формования, при формовочной влажности 14%, что также снижает энергозатраты при последующей сушке и обжиге.

Совместное влияние глины и оксихлорида алюминия на физико-механические показатели полученных изделий проявляется в снижении водопоглощения, увеличении прочности при сжатии на 8-11 %. Изделия выдерживают до 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания и обладают хорошим внешним видом (таблица 32).

Таблица 32 – Результаты физико-механических испытаний

| № составов | Содержание компонента в массе, % | | | Предел прочности при сжатии, МПа | Водопоглощение, % | Морозостойкость, цикл |
|------------|----------------------------------|--------------------|--|----------------------------------|-------------------|-----------------------|
| | Вскрышная порода, аргиллит | Калкаманская глина | Оксихлорид алюминия $[Al(OH)_{3-x}Cl_x]_n$ | | | |
| 1 | 80 | 11 | 9 | 54,2 | 7,2 | 100 |
| 2 | 80 | 12 | 8 | 47,5 | 9,1 | 100 |

Данный состав сырьевой смеси с использованием добавок позволит компенсировать неоднородность основного сырья - вскрышных пород, проявляющих неустойчивость свойств на различных горизонтах залегания, значительно снизить себестоимость кирпича [129].

5.6 Исследование составов гранулированных шихт керамических изделий матричной структуры полусухим способом формования

Следующим этапом исследования было изучение влияния гранулируемости компонентов на улучшение физико-механических свойств смеси и качественные показатели керамических образцов.

Испытания проведены на массах как в порошкообразном, так и в гранулированном состоянии, используя полусухой метод формования для изготовления

образцов с оптимальным составом. В основе этих составов лежат вскрышные породы угледобычи, глина и добавка - отходы производства хлористого алюминия.

Порошкообразная шихта, предварительно просеянная через сито $d = 0,5$ мм, дозировалась, тщательно перемешивалась и увлажнялась водой смешанной с оксихлоридом алюминия до формовочной влажности 10-12 %, после чего производилось прессование образцов.

При получении гранулированной шихты, отдозированное сырьё предварительно подсушивалось до воздушно-сухого состояния, просеивалось через сито $d = 2$ мм и подавалось на мешалку пресса, затем в тарельчатый гранулятор, где орошалось водой затворения, смешанной с модификатором через распылительное устройство. Гранулы диаметром 2-3 мм и прессовались при давлении 20 МПа. Предел прочности при сжатии образцов из порошкообразной шихты составлял в среднем 0,3 МПа, из гранулированной смеси – 0,5 МПа. Затем образцы высушивали при температуре 105 °С и обжигались при температуре от 970 до 1000 °С. Механическая прочность при сжатии образцов составила 17-26 МПа.

Результаты испытания представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Физико-механические свойства лабораторных образцов

| Вид шихты | Состав шихты | | | Общая усадка, % | Предел прочности при сжатии, МПа | Средняя плотность, кг/м ³ | Водопоглощение, % | Морозостойкость, циклов |
|-----------------|--------------|-------------------|---------------------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------------|
| | аргиллит | Глина Калкманская | Оксихлорид алюминия | | | | | |
| Порошковая | 80 | 11 | 9 | 2,90 | 17,2 | 1485 | 9,2 | 50 |
| | 80 | 12 | 8 | 2,88 | 16,5 | 1450 | 10,8 | 50 |
| Гранулированная | 80 | 11 | 9 | 2,80 | 26,3 | 1440 | 11,3 | 50 |
| | 80 | 12 | 8 | 2,75 | 25,2 | 1460 | 13,5 | 50 |

С увеличением содержания оксихлорида алюминия физико-механические показатели полученных изделий проявляются в снижении водопоглощения для порошковой шихты с 10,8 до 9,2%, для гранулированной шихты с 13,5 до 11,3%, увеличении прочности при сжатии для порошковой шихты с 16,5 до 17,2%, для гранулированной шихты с 25,2 до 26,3%. Изделия имеют морозостойкость до 100 циклов.

Кроме количественного состава компонентов в смеси, имеет значение и вид глин, являющихся компонентами смесей. Применяя глину, учитываем её способность связывать частицы вскрышной породы и придавать большую пластичность формовочным массам и необходимую прочность изделиям. Например, красноармейская глина является умереннопластичной, шихта в композите с ней гранулируется с трудом, гранулы получаются рыхлыми, прочность образ-

цов довольно низкая (10-12 МПа). При добавлении в шихту калкаманской глины прочность гранул увеличивается, а прочность образцов достигает 25-26 МПа.

По результатам исследования можно сделать вывод, что процесс предварительной грануляции шихты существенно повышает показатели физико-механических свойств керамических изделий. При одинаковой продолжительности обжига и времени выдержки в гранулированной шихте наблюдается меньший процент воздушной и общей усадки. Предел прочности на сжатие при температуре 1000 °С составляет в образцах порошковой смеси 17 МПа, в предварительно гранулированных образцах – 26 МПа, при изгибе 5,2 МПа и 5,6 МПа соответственно. Водопоглощение в процентном отношении в порошковой массе составило 9,2 % и гранулированной массе 12,2 %. Морозостойкость составила 50 циклов (таблица 34).

Таблица 34 – Физико-механические характеристики образцов полусухого прессования

| Вид шихты | Температура обжига, °С | Время выдержки, ч | Продолжительность обжига, ч | Воздушная усадка, % | Общая усадка, % | Предел прочности, МПа | | Средняя плотность, кг/м ³ | Водопоглощение, % | Морозостойкость, цикл |
|-----------------|------------------------|-------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| | | | | | | при сжатии | при изгибе | | | |
| Порошкообразная | 970 | 2 | 22 | 0,58 | 3,24 | 12 | 3,5 | 1440 | 10,8 | 50 |
| | 980 | 3 | 24 | 0,58 | 3,74 | 14 | 4,0 | 1560 | 10,3 | 50 |
| | 1000 | 3 | 32 | 0,51 | 4,04 | 17 | 5,2 | 1590 | 9,2 | 50 |
| Гранулированная | 970 | 2 | 22 | 0,42 | 2,73 | 15 | 4,5 | 1450 | 14,5 | 50 |
| | 980 | 3 | 24 | 0,42 | 3,36 | 22 | 4,9 | 1520 | 13,7 | 50 |
| | 1000 | 3 | 32 | 0,42 | 3,78 | 26 | 5,6 | 1585 | 12,2 | 50 |

Результаты исследования влияния соотношения композитов аргиллит-добавки на свойства керамических изделий показали, что с увеличением температуры обжига растёт содержание муллита в обожжённых образцах от 8 до 20 % и стеклофазы от 10 до 25 %, параллельно с этим повышается их прочность при сжатии для порошковой шихты с 12 до 17%, для гранулированной шихты с 15 до 26%, плотность – для порошковой шихты с 1440 до 1590, для гранулированной шихты с 1450 до 1585 кг/м³.

Методами математического планирования при помощи программного обеспечения были оптимизированы показатели физико-механических свойств образцов от температуры обжига.

Таким образом определены оптимальные составы шихт из порошковой и гранулированной смесей для получения керамического кирпича с показателями, соответствующими ГОСТ 530-2012.

Предварительная грануляция шихты перед производством керамических изделий повышает основные показатели композита в полтора – два раза, что положительно влияет на качество получаемой продукции [130].

Показатели свойств образцов из порошковой и гранулированной смесей при повышении температуры обжига до 1000 °С увеличиваются, предел прочности при сжатии образцов из порошковой смеси составляет 18 МПа, при изгибе – 5,5 МПа, из гранулированной смеси 27 МПа – при сжатии, 9 МПа – при изгибе.

Образца изделий представлены на рисунке 40.

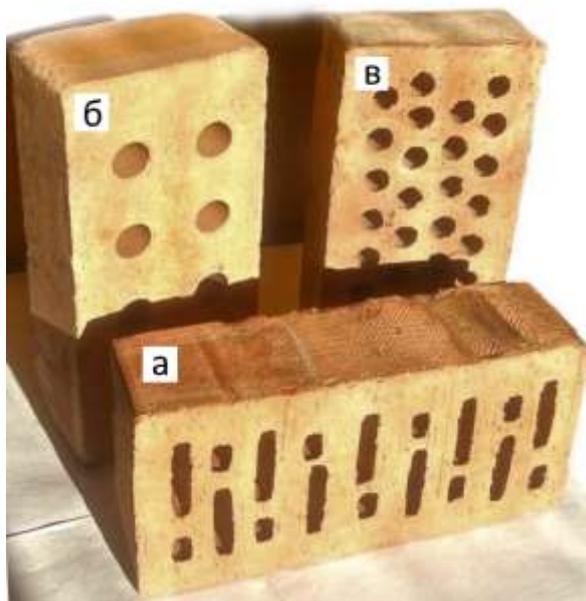


Рисунок 40 – Керамический кирпич из вскрышных пород угледобычи пластического (а), полусухого (б) и жесткого (в) формования

Выводы

Исследуемые отходы угледобычи относятся к тугоплавкому сырью средне-температурного спекания с показателем огнеупорности 1500-1580 °С,

Существенные изменения в структуре образцов наблюдаются в процессе их термической обработки в диапазоне температур от 1240 до 1470 °С, что соответствует максимальной деформации при усадке и наивысшему уровню вспучивания.

Были исследованы физико-химические процессы, а также структурно-фазовые изменения минералов, происходящие во время обжига образцов, полученных из вскрышных пород угледобычи.

При обжиге образцов из вскрышных пород угледобычи до температуры 1000 °С происходит формирование кристаллической структуры, сопровождающееся выгоранием органических компонентов, содержащихся в породах.

Наиболее высокие физико-механические характеристики имеют образцы, обожженные до 975-1000 °С. Прочность при сжатии до 31 МПа, морозостойкость до 75 циклов и водопоглощение 8,6 %.

По результатам исследований принят следующий оптимальный режим обжига: скорость подъема температуры 100 град/ч, до 800°С и 20 град/ч, до максимальной температуры 975-980 °С. Продолжительность изотермической выдержки при максимальной температуре - 2 часа.

6. Освоение технологии керамического кирпича на основе вскрышных пород в промышленных условиях, внедрение в производство и технико-экономическая эффективность

6.1 Отработка технологических параметров производства керамического кирпича из вскрышных пород

Для оптимизации технологии производства, основанной на результате исследования структурно-механических свойств массы из вскрышных пород, а также учитывая оптимальные фракционные составы и эффективность использования добавок, была проведена переработка вскрышных пород и формование кирпича-сырца тремя методами: пластическим, полусухим и жестким.

Технологическая схема пластического метода формования включала дробление пород в щековой дробилке до 50 мм, измельчение в конусной дробилке до 20-30 мм, помол в молотковой тангенциальной мельнице до фракций менее 0,5 мм, (рисунок 41). Фракционный состав регулировался продолжительностью помола в мельнице от 1 часа до 40 мин., с периодическим (1-2 раза в смену) ситовым анализом, а также числом бил в каждом из двух круговых рядов.

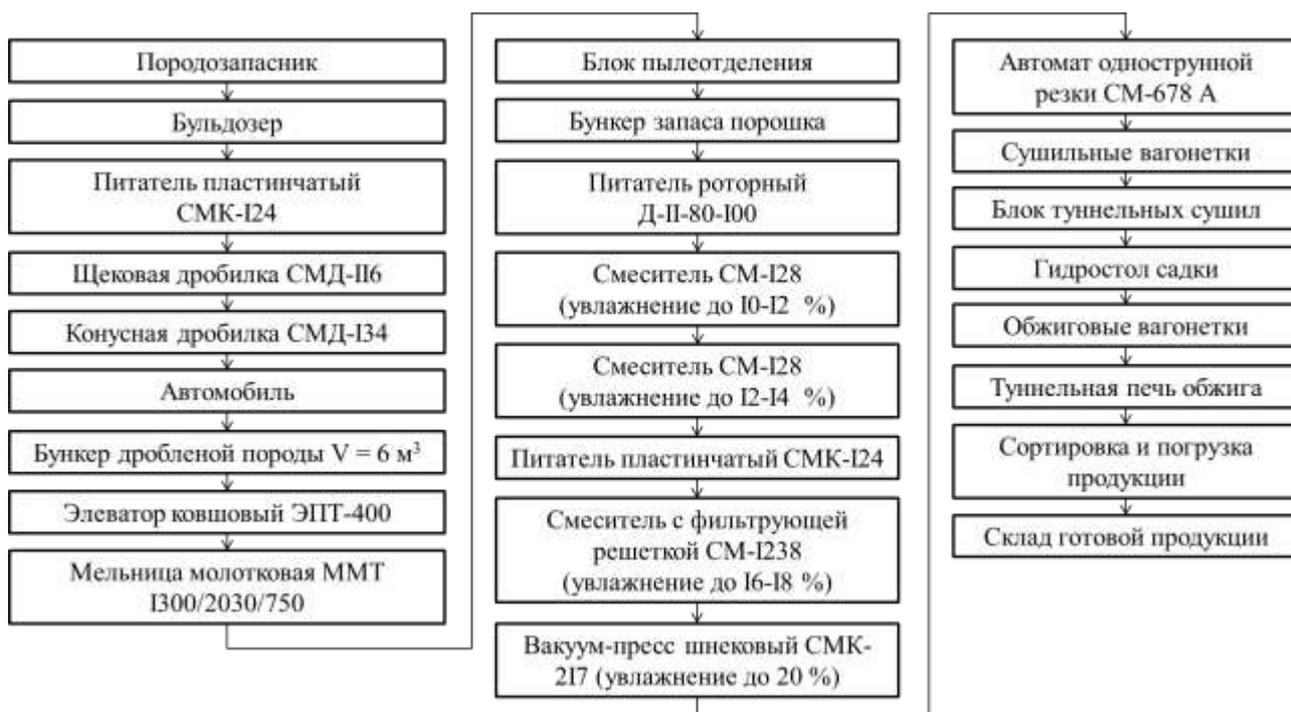


Рисунок 41 - Технологическая схема производства керамического кирпича

Подготовку массы осуществляли в двухвальном лопастном смесителе закрытого типа СМ-128, где масса перемешивалась и предварительно увлажнялась паром и горячей водой до 12-16 %, температура массы достигала 40 °С.

Пластинчатым питателем СМК-124 масса равномерно подавалась в смеситель с фильтрующей решеткой СМ-1238, в котором увлажнялась до 18-20% горячей водой и паром, затем переработанная масса подавалась в шнековый вакуум-пресс СМК-127, в котором при 0,6-0,7 МПа вакуумировалась и формировалась в ленточный брус. Влажность бруса составляла 19-20 %, температура – 35-40 °С. Выход брака при формировании составляет 4,5-5%.

Резку бруса на изделия осуществляли однострунным резательным автоматом СМ-6784. Кирпич-сырец укладывался на сушильные рамки, комплектовался пакет изделий. Сушильные вагонетки ВКС-6 с помощью электропередаточной тележки СМ-522 подавались в туннельные сушила. Температура подаваемого теплоносителя составляла 100-110 °С, отработанного – 30-40 °С, влажность – 15-20 %, остаточная влажность – 4-6 %.

Результаты разбраковки изделий после сушки показали, что без дефектов получено 96,2 % высушенного сырца, с дефектами в виде посечек и мелких структурных несквозных трещин 2,5 %, половняк составили 1,3 %.

Показатели влагоотдачи удовлетворительно высушенных образцов приведены в таблице 35.

Таблица 35 - Показатели влагоотдачи контрольных образцов сырца в процессе сушки при пластическом формовании

| | Первоначальная масса образца, г | Влажность массы, % | Общее количество воды в образце, г | Время от начала сушки, ч | | | | Остаточная влажность, % | Воздушная линейная усадка, % |
|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------|------|------|-----|-------------------------|------------------------------|
| | | | | 2,6 | 10,6 | 18,6 | 24 | | |
| Рядовой кирпич из вскрышных пород | | | | | | | | | |
| аргиллит | 5245 | 17,8 | 932 | | | | | | |
| | Влагоотдача, г | | | 25 | 195 | 520 | 645 | 6,2 | 5,4 |
| | Остаточная влажность % | | | 17,3 | 14,6 | 8,7 | 6,2 | | |

Обжиг кирпича-сырца производили в туннельной печи производительностью 50 млн. штук в год.

Продолжительность обжига в печи составляла 31 ч., периодичность проталкивания вагонеток – 1 ч., температуры отходящих газов – 100-150 °С. Для исключения подваров и полного сжигания топлива засыпку угля производили через топливные трубочки от 0,1 до 0,8 кг через 15-20 мин. Обжиг изделий производили до максимальной температуры 960-980 °С.

В результате разбраковки установлено, что 1-1,5 % обожженных изделий имеют отдельные посечки.

По своим физико-механическим характеристикам полученный керамический кирпич удовлетворяет стандарту ГОСТ 530-2012 "Кирпич и камни керамические".

Исследования морозостойкости показали, что произведенные изделия соответствуют требованиям стандарта ГОСТ 530-2012 для марки F-50. Теплотехнические свойства и плотность кирпича и камней соответствовали критериям эффективности и условной эффективности.

По показателям прочности изделия соответствуют требованиям ГОСТ 530-2012 для марок 100-150.

6.2 Опытно-промышленные испытания по выпуску керамического кирпича с использованием добавок пластическим методом формования

На технологической линии по производству керамического кирпича ТОО «Yer-Min-Brick» проведены испытания по выпуску опытной партии керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи и добавок пластическим способом формования.

Для улучшения формовочных свойств масс, снижения брака при формовании изделий, повышения качества выпускаемых изделий готовились порошки из вскрышных пород, переработку которых осуществляли по той же технологической схеме, но для более тщательной переработки масс в линию был введен дополнительный лопастной смеситель СМ-128.

Состав шихты, мас. %:

- вскрышные породы угледобычи – 80;
- глина – 17-18;
- отход производства хлористого алюминия – 2-3.

Формовочная влажность – 20 %.

В таблице 36 представлены результаты анализа физико-механических свойств полученных изделий. Они демонстрируют, что использование добавок способствует достижению показателей прочности изделий до 14,2 МПа, водопоглощения в диапазоне от 10 до 12 % и морозостойкости до 50 циклов.

Таблица 36- Результаты физико-механических испытаний керамического кирпича из масс на основе вскрышных пород и добавок

| № составов | Содержание компонента в массе, % | | | Предел прочности при сжатии, МПа | Водопоглощение, % | Морозостойкость, цикл |
|------------|----------------------------------|--------------------|--|----------------------------------|-------------------|-----------------------|
| | Вскрышная порода, аргиллит | Калкаманская глина | Оксихлорид алюминия $[Al(OH)_{3-x}Cl_x]_n$ | | | |
| 1 | 80 | 17 | 3 | 14,2 | 10 | 50 |
| 2 | 80 | 18 | 2 | 22,5 | 12 | 50 |

При отработке технологии производства керамического кирпича из вскрышных пород откорректированы технологические параметры переработки, подготовки и формирования масс, а также режим сушки и обжига изделий.

Параметры производства керамического кирпича из вскрышных и углистых пород включают:

- крупность поступающих кусков – не более 5000 мм;
- дробление на щековой дробилке – до 50 мм;
- измельчение в конусной дробилке – до 20-30 мм;
- помол в молотковой тангенциальной мельнице до фракционного состава 0,5-0,25 мм – 10-50 %; 0,25-0,125 мм – 5-55 %; 0,125-0,063 мм – 20-65 %;
- первичное увлажнение в смесителе с обработкой паром и горячей водой – до 12-16 %;
- температура массы – 40 °С;
- вторичное увлажнение паром и горячей водой в смесителе с фильтрующей решеткой – до 18-20 %;
- формирование и вакуумирование при 0,6-0,7 МПа в прессе с увлажнением до нормальной формовочной влажности – 19-20 %;
- температура бруса – 35-40 °С;
- брак при формировании – не более 5 %;
- сушка кирпича-сырца – в течение 24 ч.;
- влажность загружаемого сырца – 19-20 %;
- остаточная влажность сырца – 4-6 %;
- параметры теплоносителя:
 - температура при подаче – 100-110 °С;
 - температура отработанного теплоносителя при сушке – 30-40 °С;
 - влажность на подаче – 15-20 %;
 - влажность отработанного теплоносителя при сушке – 80-90 %
- брак при сушке – не более 4 %;
- обжиг до максимальной температуры – 960-980 °С;
- продолжительность обжига – 31 ч.;
- изотермическая выдержка – 4 ч.;
- скорость подъема температуры – 100 °С/ч.

По выявленным техническим параметрам разработан технологический регламент по выпуску керамического кирпича на основе вскрышных пород угледобычи и добавок.

6.3 Технико-экономическая эффективность технологии производства керамического кирпича на основе вскрышных пород угледобычи пластическим способом формования

Расчет экономической эффективности производили на примере кирпичного завода ТОО «Вершина», г. Экибастуз (производственная мощность 50 млн. штук условного кирпича в год).

6.3.1 Материальные затраты на производство.

Основные расходы на производство непосредственно связаны с технологическими процессами, включая затраты на сырье и материалы, энергию и топливо, а также заработную плату работников. Накладные расходы включают затраты на управление и обслуживание производства, такие как цеховые издержки и

расходы на сбыт готовой продукции. Прямые расходы прямо связаны с производством кирпича и непосредственно влияют на его себестоимость, в то время как косвенные расходы относятся к общей деятельности цеха или предприятия и не учитываются в себестоимости продукции.

Косвенные затраты пропорциональны основной заработной плате производственных работников, себестоимости производства, рабочим часам оборудования, предназначенного для изготовления определенных изделий, и так далее.

Затраты подразделяются на постоянные и непостоянные в зависимости от изменения объема производства. Постоянные затраты остаются неизменными независимо от объема производства, в то время как непостоянные затраты могут изменяться в зависимости от объема производства. Затраты на производство включают все материальные ресурсы, затраченные на производство продукции в целом.

Для сравнения вариантов сырья существующего производства с предлагаемым составом сырья, принимаем все затраты на производство одинаковыми. Различие и сравнение производим по составу сырья и его стоимости.

6.3.2 Расход основных материалов

В годовую программу включаются затраты сырья и основных материалов, таблица 37.

Таблица 37 - Потребность основных сырьевых материалов в год

| Наименование сырьевых материалов | Потребность, т | | | |
|----------------------------------|----------------|---------|---------|-------|
| | в год | в сутки | в смену | в час |
| Глинистая порода | 269532 | 17721,6 | 5907,5 | 738,4 |
| Вскрышные породы | 255885 | 16826,4 | 5608,8 | 701,1 |
| Технологическая вода | 19545 | 1284,96 | 428,32 | 53,54 |

Определяем стоимость сырья и основных материалов по формуле (1)

$$C_m = P_m \times C_m, \quad (1)$$

где: P_m – расход сырьевого материала, т;

C_m – цена за тонну сырьевого материала, тг.

Стоимость сырьевых материалов приведена в таблице 38.

Таблица 38 – Стоимость сырьевых материалов

| Наименование | Стоимость 1 т, тг | Стоимость, тыс.тг |
|----------------------|-------------------|-------------------|
| Глинистая порода | 600 | 161719200 |
| Вскрышные породы | 300 | 76765500 |
| Технологическая вода | 50 | 977250 |

6.3.3 Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования

Расчет расходов на содержание и эксплуатацию оборудования проведены по статьям для силового и производственного оборудования, транспортных средств, инструмента и инвентаря.

Результаты расчетов приведены в таблице 39.

Таблица 39 – Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования

| № | Наименования статей | Сумма, тг. |
|---|--|------------|
| 1 | Содержание оборудования и транспортных средств (1975711,2+135322,7) | 2111033 |
| 2 | Амортизация оборудования и транспортных средств (9483413,8+324774,5) | 9808188 |
| 3 | Текущий ремонт оборудования и транспортных средств (2765995,7+189451,8) | 2955447 |
| 4 | Прочие затраты (10% от суммы предыдущих статей) | 1487466 |

6.3.4 Смета цеховых затрат

Полная себестоимость единицы продукции формируется из технологической, цеховой и производственной себестоимости. Расчеты цеховых затрат приведены в таблице 40.

Таблица 40 – Цеховые затраты

| № п/п | Наименования статей | Сумма, тг. |
|-------|--|------------|
| 1 | Содержание зданий, сооружений, инвентаря (405968,1+866065,2+108258,2) | 1380291 |
| 2 | Текущий ремонт зданий, сооружений, инвентаря (270645+346426+303122) | 920193 |
| 3 | Амортизация зданий, сооружений, инвентаря (649548+1732130+866065) | 3247743 |
| 4 | Затраты по охране труда и противопожарной технике (2,5% от фонда оплаты труда всех работников) | 1680501 |
| 5 | Прочие затраты (10% от суммы предыдущих затрат) | 554822,7 |

Цеховая себестоимость складывается из всех текущих затрат цеха на производство единицы продукции.

6.3.5 Расчет себестоимости изделий

Себестоимость продукции представляет собой ценовую оценку стоимости сырья, материалов, и других затрат на производство и реализацию продукции.

Расчет себестоимости продукции представлен в таблице 41,42.

Таблица 41 – Расчет себестоимости продукции

| Затраты | на 1 м ³ , тг | На годовой выпуск, тг |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Сырье и основные материалы | | |
| - глина | 480 | 161719200 |
| - угольные отходы (вскрышные породы) | 60 | 76765500 |
| Всего: | 540 | 238484700 |
| Вспомогательные материалы (250 тг1 м ³) | 250 | 39000000 |
| Технологический пар (30 тг 1 кг/м ³) | 5,07 | 539427 |
| Электроэнергия (14,8 тг 1 кВт) | 10,03 | 1416003 |
| Технологическая вода | 4,02 | 586350 |
| Оплата труда основных и вспомогательных работников | 530,6 | 82680000 |
| Социальный налог (11 %) | 15 | 2340000 |
| Расход на содержание и эксплуатацию оборудования | 3000,8 | 103638152 |
| Цеховые затраты | 1000 | 76690100 |
| Общезаводские расходы (30% от цеховых затрат) | 388,6 | 31091446 |
| Итого себестоимость производства: | 39200 | 111850746 |
| Затраты вне производства | 56,3 | 33555224 |
| Полная себестоимость | 45000 | 201208803 |

Таблица 42 – Себестоимость и цена единицы продукции

| Наименование изделия | Размеры изделий, мм | | | Объем изделия, м ³ | затраты на одно изделие, тг | стоимость одного изделия, тг |
|-------------------------------|---------------------|--------|--------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | длина | высота | ширина | | | |
| Номинальный нормальный кирпич | 250 | 120 | 65 | 0,00195 | 56,66 | 65 |
| Утолщенный кирпич с пустотами | 250 | 120 | 88 | 0,00264 | 63,75 | 75 |

Основные технико-экономические показатели производства по выпуску керамического кирпича с использованием вскрышных пород угледобычи представлены в таблице 43.

Таблица 43 – Технико-экономические показатели производства по выпуску керамического кирпич

| Наименование показателей | Единица измерения | Количество |
|---|-------------------|------------|
| Годовой выпуск продукции в натуре, в том числе: | млн. шт, | 50 |
| Номинальный условный кирпич | млн. шт, | 25 |
| Утолщенный кирпич с пустотами | млн. шт, | 25 |
| Режим работы производственных цехов: | | |
| Основные цеха | | |
| а) количество дней в год | день | 334 |
| б) количество смен в сутки | смена | 3 |
| в) количество часов в смену | час | 8 |
| | | |
| Общая численность работающих, в том числе: | человек | 116 |
| а) рабочих | человек | 101 |
| б) обслуживающих | человек | 15 |
| | | |
| Годовой выпуск | | |
| а) в натуральном выражении: | | |
| на одного работающего | м ³ | 1047,6 |
| на одного рабочего | м ³ | 1279 |
| б) в денежном выражении: | | |
| работающего | тыс. теңге | 10766 |
| на рабочего | тыс. теңге | 13090 |

| | | |
|--|------------|---------|
| Фонд оплаты труда производственного персонала, в том числе фонд оплаты труда рабочих | тыс. тенге | 67702 |
| Полная себестоимость единицы продукции (1 м ³) | тенге | 39200 |
| Цена единицы продукции (1 м ³) | тенге | 45000 |
| Полная себестоимость товарной продукции | тенге | 6084000 |
| Эффективность предприятия | | 25% |

6.3.6 Расчет экономической эффективности

Расчет экономической эффективности производили путем сопоставления двух вариантов:

I вариант – показатели действующего завода по производству керамического кирпича из глин с добавками угольных отходов (вскрышных пород) 20-50%;

II – вариант – показатели завода по производству керамического кирпича из вскрышных пород Экибастузского бассейна (80%) с добавками (глины 20%).

Расчет произведен по ценам, установленным на 01.01.24 г. Нормы расхода сырья и материалов представлены в таблице 44.

Таблица 44 – Нормы расхода сырья и материалов на выпуск 1000 штук условного кирпича

| Наименование сырья и материалов: единица измерения | Расход на 1000 штук | |
|---|---------------------|----------------|
| | по I варианту | по II варианту |
| Глина, т | 2,1 | 0,8 |
| Вскрышная порода, т | 2,1 | 3,4 |
| Вода на технологические нужды, м ³ | 0,35 | 0,35 |
| Пар, т | 0,42 | 0,42 |
| Уголь на обжиг, т | 0,368 | 0,264 |
| Электроэнергия, кВт/ч | 19,6 | 19,6 |

Применение вскрышных пород для изготовления керамических изделий обеспечивает экономию топливно-материальных ресурсов.

Расчеты приведены в таблице 45.

Таблица 45– Показатели экономии затрат на сырье и материалы, на 1000 шт.

| Вид экономии | Количество | | |
|---------------------------------------|----------------------------|-----|---------|
| | В натуральном выражении, т | в % | в тенге |
| Экономия сырья – вскрышных пород: | | | |
| Экономия глинистого сырья за счет ис- | 1,3 | 68 | 390 |

| | | | |
|---|-------|----|-------|
| пользования вскрышных пород | | | |
| Экономия топлива за счет использования вскрышных пород с содержанием органического вещества | 0,104 | 28 | 124,8 |

Себестоимость производства керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи определяли по изменению себестоимости производства кирпича из глины по статьям, приведенным в таблице 46.

Для обжига керамического кирпича, произведенного из отходов угледобычи, используется сгорание органических компонентов, присутствующих в сырье. Для поддержания огня в печи применяется уголь, добываемый на Майкубенском месторождении..

Снижение расхода угля происходит за счет сокращения расхода на обжиг и составляет 0,104 т на 1000 штук условного кирпича, что способствует снижению материальных затрат на 124,8 тг.

Таблица 46 – Показатели себестоимости 1000 штук условного кирпича по изменяющимся статьям I и II вариантов

| Показатели | Единица измерения | I вариант | II вариант | Изменение |
|---|-------------------|-----------|------------|-----------|
| Сырье и материалы | тг | 1890 | 1500 | -390 |
| Расход топлива на технологические нужды | т | 0,368 | 0,264 | -0,104 |
| | тг | 1840 | 1320 | -520 |
| Расход электроэнергии | кВт/ч | 19,6 | 19,6 | - |
| | тг | 291 | 291 | - |
| Расход воды | м ³ | 0,165 | 0,165 | - |
| | тг | 7,9 | 7,9 | - |

Снижение расходов на сырье и материалы при использовании вскрышных пород в качестве основного сырья составляет 910 тг/1000 штук условного кирпича.

Таким образом, годовой экономический эффект от замены части традиционного глинистого сырья вскрышными породами угледобычи на кирпичном заводе ТОО «Вершина» составит 45,5 млн. тг.

Учитывая, что у ТОО «Вершина» в настоящее время функционируют два завода мощностью 50 млн.штук условного кирпича каждый, общий годовой экономический эффект составит 91 млн. тг.

Общие выводы

Анализ литературных данных показал, что проведенные ранее исследования свидетельствуют о принципиальной возможности получения керамических изделий из вскрышных пород, являющихся новым типом органоминерального сырья.

Исследователями, как у нас в стране, так и за рубежом, изучены структурно-механические характеристики и свойства керамических масс из глин и углеотходов и предложены способы их регулирования с целью получения изделий с заданными свойствами и структурой. Однако, в большинстве своем, проведенные исследования распространяются на керамические массы из глин и отходов углеобогащения, тогда как по отходам угледобычи в этой области имеются незначительные данные.

Изложенные выше факты указывают на необходимость более детального исследования структурно-механических характеристик и свойств керамических масс, произведенных из отходов угледобычи. Разработка методов их контроля и регулирования будет способствовать формированию керамических изделий с заданными свойствами и без дефектов.

Однако, в предшествующих исследованиях не рассматривались все аспекты процессов формирования коагуляционной, кристаллизационной и конденсационной структур в керамических изделиях вскрышных пород угледобычи, а также методы их регулирования во время формования, сушки и обжига для достижения заданных характеристик. В результате, изучение этих процессов с целью получения керамического кирпича с определенными заранее заданными свойствами представляет собой актуальную и новую задачу.

Согласно нормам радиационной безопасности, породы могут быть использованы без ограничений в производстве всех видов строительных материалов. Уровень экологически опасных элементов в этих породах находится ниже предельно допустимых значений, что делает их экологически безопасным сырьем.

По своему химическому составу минеральная часть и уровень водорастворимых солей в породах характеризуются высокой степенью однородности и принадлежат к категории полукислых с низким или средним содержанием красящих оксидов в сырье.

Петрографическими исследованиями и дифрактометрическим анализом Исследования подтвердили, что породы принадлежат к категории каолинито-гидрослюдистых сырьевых материалов, содержащих кварц, полевые шпаты, железистые минералы, карбонаты и органические вещества.

Вскрышные породы проявляют пластические свойства при их измельчении до фракций менее 0,5 мм.

В зависимости от литологических типов, горизонтов залегания пород, а также содержания органических веществ, минералогического и фракционного составов образуются коагуляционные структуры различных структурно-механических типов.

Установлен механизм изменения P_m и ОФВ масс из вскрышных пород, характеризующийся снижением объема гидратных оболочек за счет уменьшения их толщины и увеличения прочности контактов при снижении ОФВ и росте P_m .

Исследования показывают, что структурно-механические характеристики зависят от минералогического состава пород. При уменьшении содержания каолинита и гидрослюда в породах от глубины залегания +50 м к +150 м наблюдается снижение пластической вязкости и эластичности масс. Высокое содержание кварца ослабляет силы молекулярного взаимодействия между глинистыми частицами и снижает прочность коагуляционных структур.

При увеличении содержания органического вещества в породах отмечается снижение пластической вязкости от $534,2 \cdot 10^8$ Па·с до $351,1 \cdot 10^8$ Па·с, увеличение периода истинной релаксации от 578 до 772 с для масс из аргиллитов и от 468 до 578 с – из алевролитов. С увеличением количества органического вещества доля медленных эластических деформаций снижается, а пластических – увеличивается.

Установлена возможность регулирования структурно-механических свойств масс из вскрышных пород подбором фракционного состава.

Определено оптимальное соотношения фракций вскрышных пород, обеспечивающее получение хорошо формирующихся масс.

Структурно-механические свойства оптимальных фракционных составов изменяются следующим образом: эластичность – от 0,45-0,60; пластическая вязкость - $480 \cdot 10^8$ - $515 \cdot 10^8$ Па·с, период истинной релаксации – 660-750 с, пластичность по Воларовичу – $0,0014$ - $0,024 \cdot 10^{-7}$ с⁻¹. При формировании коагуляционных структур преобладают медленные эластические деформации 42,5 - 50,0 %.

Прослеживается незначительная разница между значениями свойств аргиллитов и алевролитов.

Исследования показали, что добавление высокоминерализованных углистых пород, отхода химического производства - оксихлорида алюминия и Калкаманской глины в массы из вскрышных пород угледобычи приводит к улучшению их структурно-механических свойств.

Установлено, что эффективность воздействия высокоминерализованных углистых пород на коагуляционную структуру масс заключается в том, что смоляные и битумные вещества, находящиеся в этих породах, вызывают в массах коагуляционные явления, на 6-13% снижается их пластическая вязкость, уменьшается жесткость и улучшается формовочная способность масс.

Высокоминерализованные углистые породы способствуют переводу масс из третьего в первый структурно-механический тип за счет значительного снижения пластических и преобладания медленных эластических деформаций.

Установлен способ регулирования структурно-механических свойств масс из вскрышных пород введением оксихлорида алюминия, обеспечивающий активизацию коагуляционных явлений масс, улучшение их эластичности, формовочных свойств и снижение пластической вязкости. Использование оксихлори-

да алюминия позволило получить из вскрышных пород массы со структурно-механическими свойствами, характерными для хорошо формующихся масс. Использование Калкаманской глины в сочетании с оксихлоридом алюминия позволяет получить хорошо формующиеся массы из вскрышных пород при меньшей степени помола и усреднить их неоднородность.

Для улучшения сушильных характеристик образцов из отходов угледобычи необходимо регулировать их фракционный состав. Установлены оптимальные составы, обеспечивающие улучшенные формовочные и сушильные показатели, это следующие диапазоны содержания фракций: 0,5-0,25 мм - 5-50%, 0,25-0,125 мм - 5-60%, 0,125-0,063 мм - 45-70%.

Образцы из масс на основе этих составов, отформованные на прессе с вакуумированием имеют значения воздушной усадки 0,8-3,0%, предел прочности на сжатие 2,8-3,5 МПа, кажущуюся пористость 9,7-15,4%, плотность 1828-1990 кг/м².

Дальнейшим объектом исследования выбраны аргиллиты горизонтов +50м, + 100м, + 150м, как имеющие наиболее оптимальные сушильные свойства по сравнению с алевролитами всех горизонтов залегания.

Исследуемые отходы угледобычи классифицируются как тугоплавкое сырье среднетемпературного спекания и огнеупорностью в диапазоне 1500-1580 °С.

Проведены исследования физико-химических процессов и структурно-фазовых изменений минералов, происходящих в процессе обжига образцов из отходов угледобычи.

Образование кристаллической структуры в образцах, полученных из вскрышных пород, происходит при обжиге до температуры 1000 °С с последующим выгоранием органических веществ, которые присутствуют в породах.

Использование добавок-модификаторов углистых сланцев, оксихлорида алюминия и Калкаманской глины позволило получить улучшенные показатели физико-механических свойств.

На основе масс из вскрышных и углистых пород получены керамические изделия с показателями: прочностью при сжатии – 42,4-49,8 МПа, морозостойкостью 50-75 циклов и водопоглощением 8,6-9,2 %.

Влияние оксихлорида алюминия на физико-механические показатели изделий проявляются в снижении водопоглощения от 8,2 до 7,0 %, увеличении морозостойкости до 100 циклов и прочности при сжатии 49,8-51,4 МПа;

Использование Калкаманской глины в сочетании с оксихлоридом алюминия позволяет получить физико-механические показатели изделий - водопоглощение от 9,1 до 7,2 %, морозостойкость до 100 циклов, прочность при сжатии 47,5-54,2 МПа;

определены оптимальные составы шихт из порошковой и гранулированной смесей для получения керамического кирпича с показателями, соответствующими ГОСТ 530-2012.

Предварительная грануляция шихты перед производством керамических изделий повышает основные показатели композита в полтора – два раза, что положительно влияет на качество получаемой продукции.

Показатели свойств образцов из порошковой и гранулированной смесей при повышении температуры обжига до 1000 °С увеличиваются, предел прочности при сжатии образцов из порошковой смеси составляет 18 МПа, при изгибе – 5,5 МПа, из гранулированной смеси 27 МПа – при сжатии, 9 МПа – при изгибе.

Разработаны технологические параметры производства керамического кирпича пластическим способом формования.

По результатам исследований принят следующий оптимальный режим обжига: скорость подъема температуры 100 град/ч, до 800°С и 20 град/ч, до максимальной температуры 975-980 °С. Продолжительность изотермической выдержки при максимальной температуре - 2 часа.

Определена экономическая эффективность производства керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи.

Заключение

Проведенными исследованиями доказано, что вскрышные породы угледобычи могут быть эффективно использованы в качестве сырья для производства керамического строительного кирпича.

В условиях действующего производства отработаны технологические параметры производства керамического кирпича из вскрышных пород пластическим способом формования.

Использование добавок при производстве керамических изделий из вскрышных пород позволяет улучшить технологические свойства изделий, повысить качество готовых изделий за счет уменьшения количества дефектов и улучшения внешнего вида.

Таким образом, использование вскрышных пород угледобычи с добавками-модификаторами в качестве сырья для производства строительных материалов имеет большое экологическое, экономическое и технологическое значение. Дальнейшие исследования в этой области позволят разработать новые виды строительных материалов с улучшенными характеристиками и внести значительный вклад в решение проблемы техногенных отходов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Послание Главы государства К.К.Токаева народу Казахстана. 1 сентября 2020 г. «Казахстан в новой реальности: время действий»
- 2 Послание Главы государства Республики Казахстан К.К.Токаева Народу Казахстана от 1 сентября 2023 года «Экономический курс Справедливого Казахстана»
- 3 Закон Республики Казахстан от 13 января 2012 года № 541-IV «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 15.01.2019 г.).
- 4 Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 июня 2014 года № 724 «Об утверждении Концепции развития топливно- энергетического комплекса Республики Казахстан до 2030 года» (с изменениями от 21 ноября 2022 года № 931).
- 5 Указ Президента Республики Казахстан «Об утверждении Национального плана развития Республики Казахстан до 2025 года» от 26 февраля 2021 г. №521
- 6 Постановление Правительства Республики Казахстан «Об утверждении Государственной программы инфраструктурного развития «Нұрлы жол» на 2020 - 2025 годы» от 30 декабря 2022 года № 1116.
- 7 Указ Президента Республики Казахстан «Об утверждении Стратегического плана развития Республики Казахстан до 2025 года» от 15 февраля 2018 г. № 636
- 8 Постановление Правительства Республики Казахстан «Об утверждении Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020 – 2025 годы (в части опережающего развития обрабатывающей промышленности)» от 20 июля 2022 г. № 508
- 9 Программа развития территории Павлодарской области на 2021-2025 годы, утвержденная решением Павлодарского областного маслихата (I сессия, VII созыв) от 15 января 2021 года № 6/1-VII
- 10 Станевич В.Т., Кудерин М.К., Торпищев Ш.К. Использование вскрышных пород угледобычи ЭУБ для производства керамических строительных материалов. Вестник национальной инженерной академии РК, Алматы, № 4 (14), 2004, с. 115-118
- 11 Капустин А.П. Керамические стеновые материалы на основе вскрышных пород угледобычи : дис. канд. техн. наук : 05.23.05. – Павлодар, 1988. – 187 с.
- 12 Калмыкова Л.Ф. Регулирование структурно-механических свойств масс из отходов угледобычи для получения керамического кирпича: дис. канд. техн. наук : 05.23.05. – Павлодар, 1992. – 199 с.
- 13 Станевич В.Т. Керамическая черепица из отходов угледобычи (технология и свойства): дис. канд. техн. наук : 05.23.05. – Алматы, 1992. – 199 с.

- 14 Станевич В. Т., Кудрышова Б. Ч., Ибрагимов К. Исследование процессов, протекающих при обжиге керамических образцов из отходов угледобычи // Научный журнал «Наука и техника Казахстана». Павлодарский Государственный университет им. С. Торайгырова. №4. – 2005 г. – 150-154 с.
- 15 Ананьев, А.И. Керамический кирпич и его место в современном строительстве / А.И. Ананьев, О.И. Лобов // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – No 10. – С. 62–65.
- 16 Nwachukwu, M.A.; Ronald, M.; Feng, H. Global capacity, potentials and trends of solid waste research and management. Waste management & research. 2017, 35, 923- 934
- 17 Xin, Y.; Mohajerani, A.; Kurmus, H.; Smith, J.V. Possible recycling of waste glass in sustainable fired clay bricks: a review. International Journal of GEOMATE. 2021, 20, 57-64.
- 18 Yuan, Q.; Mohajerani, A.; Kurmus, H.; Smith J.V. Possible recycling options of waste materials in manufacturing ceramic tiles. International Journal of GEOMATE. 2021, 20, 73-80.
- 19 Ahmaruzzaman, M.A. Review on the utilisation of fly ash, progress in energy and combustion. Science, 2010, 36, 327-363.
- 20 Andreola, F.; Barbieri, L.; Lancellotti, I.; Leonelli, C.; Manfredini T. Recycling of industrial wastes in ceramic manufacturing. State of art and glass case studies, Ceramics International. 2016, 42,133-138.
- 21 Wang, N.; Sun, X.; Zhao, Q.; Yang, Y.; and Wang P. Leachability and adverse effects of coal fly ash. A review, Journal of Hazardous Materials. 2020, 34, 466-432.
- 22 Ледащева, Т.Н. Обращение с отходами в проекте мероприятий по охране окружающей природной среды / Т.Н. Ледащева, В.Е. Пинаев // Отходы и ресурсы. – 2016. – Т 3. – No 3. – С. 3–11.
- 23 Ашмарин, Г.Д. Расширение сырьевой базы – важный фактор развития отрасли керамических стеновых материалов / Г.Д. Ашмарин, А.Н. Ливада // Строительные материалы. – 2008. – No 4. – С. 22–23.
- 24 Влияние технологических факторов на формирование рациональной структуры керамических изделий полусухого прессования из минеральных отходов Кузбасса / А.Ю. Столбоушкин, С.В. Дружинин, Г.И. Стороженко, В.Ф. Завадский // СМ: Technology. – 2008. – No 5. – С. 95–97.
- 25 Семёнов А.А. Российский рынок керамических стеновых материалов в 2016 году / А.А. Семёнов // Строительные материалы. – 2017. – No 4. – С. 4–5
- 26 Истомин В. И., Толкачев В. Я., Сорокин Г. Н. Подбор оптимального фракционного состава аргиллита для производства кирпича. - Строительные материалы, 1980, № 4, с.23-24.
- 27 Котляр А. В. Генезис и общая характеристика аргиллитоподобных глин как сырья для производства клинкерного кирпича. Вестник Тувинского государственного университета. - 2016. - № 3. - С. 14-21.

- 28 Котляр А. В. Особенности химического состава аргиллитоподобных глин и аргиллитов. *Строительные материалы*. - 2016. - № 4. - С. 10-13.
- 29 Котляр А. В. Технологические свойства аргиллитоподобных глин при производстве клинкерного кирпича. *Вестник ТГАСУ*. - 2016. - № 2(55).-С. 164-175.
- 30 Кондратенко В. А. Керамические стеновые материалы: оптимизация их физико-технических свойств и технологических параметров производства. - М.: Композит, 2005. - 509 с.
- 31 Rathossi, C Effect of firing temperature and atmosphere on ceramics made of NW Peloponnese clay sediments. Part I: Reaction paths, crystalline phases, microstructure and colour / C. Rathossi, Y. Pontikes // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2010. – № 30. – P. 1841–1851.
- 32 Influence of firing conditions on ceramic products: Experimental study on clay rich in organic matter / L. Maritan, L. Nodari, C. Mazzoli and oth. // *Applied Clay Science*. – 2006. – № 31. – P. 1–15.
- 33 Зубехин, А.П. Теоретические основы инновационных технологий строительной керамики / А.П. Зубехин, Н.Д. Яценко // *Строительные материалы*. – 2014. – № 1– 2. – С. 89–92.
- 34 Яценко, Н.Д. Научные основы инновационных технологий керамического кирпича и управление его свойствами в зависимости от химико-минералогического состава сырья / Н.Д. Яценко, А.П. Зубехин // *Строительные материалы*. – 2014. – № 4. – С. 28–31.
- 35 Лотов В.А., Кутугин В.А. Управление процессами формирования дисперсных структур/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 336 с.
- 36 Ребиндер П.А. Физико-химическая механика – новая область науки. – М.: Знание, 1958. -40 с.
- 37 Черняк Л.П., Комский Г.З., Хрунже А.В. Структурообразование и свойства глинистых систем с минерализаторами // *Стекло и керамика*. – 1980. - № 12. – с. 13-15.
- 38 Хигерович М.И., Байер В.Е., Слабышев Г.М., Шилов Ю.С. Физико-химические способы улучшения качества глиняного кирпича // *Строительные материалы*. – 1975. - № 1. – с. 30-32.
- 39 Книгина Г.И. Шелегов В.Г. Регулирование структурно-механических свойств керамических паст // *Строительные материалы*. – 1979. - № 11. – с. 23-24.
- 40 Валкевич В.Л., Мосин Ю.М., Литвин Ю.Н. Реологические свойства формовочной массы для производства муллито-кордиеритовой керамики // *Стекло и керамика*, - 1978. - № 11. – с. 27-29.
- 41 Ничипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. – Киев: Наукова думка, 1968. – 76с
- 42 Августиник, А.И Керамика. – Л. : Стройиздат, 1973. – 592 с. 68.

- 43 Чернышов, Е.М. К проблеме развития исследований и разработок в области материаловедения и высоких строительных технологий: основные акценты // Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии : мат-лы XV Акад. чтен. РААСН – межд. научно-техн. конф. – Казань : КазГАСУ, 2010. – Т. 1. – С. 8–9.
- 44 Абдрахимов В.З., Хасаев Г.Р., Абдрахимова Е.С. и др. Экологические, теоретические и практические аспекты использования алюмосодержащих отходов в производстве керамических материалов различного назначения без применения природного традиционного сырья // Экология и промышленность России. – 2013. – № 5. – С. 28–32.
- 45 Каушанский, В.Е. Использование техногенных продуктов как путь создания энерго- и ресурсосберегающих технологий производства строительных материалов / В.Е. Каушанский, В.Г. Лемешев // Мат-лы научно-техн. и научно-методич. конф. – М. : МИКХИС, 2003. – Ч. 1. – С. 25–29.
- 46 Малиновский Г.Н. Реологические модели глиняных масс // Изв. Вуз. Строительство и архитектура. – 1981. - № 1. – с. 74-78.
- 47 Ильичев, В.А. О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности / В.А. Ильичев, Н.И. Карпенко, В.Н. Ярмаковский // Строительные материалы. – 2011. – №
- 48 Бурученко, А.Е. Возможности использования вторичного сырья для получения строительной керамики и ситаллов / А.Е. Бурученко // Вестник Тувинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. – 2013. – № 3(18). – С. 7–14.
- 49 Абдрахимов В. З., Тайжанов С. С., Абдрахимова Е. С. Использование отходов производств цветных металлов в качестве отощителей // Информационный листок. ВКЦНТИ. -Усть-Каменогорск -1998 -№9. - 4с.
- 50 Хрулев, В.М., Тентиев Ж.Т., Курдюмова В.М. Состав и структура композиционных материалов / В.М. – Бишкек : Полиглот, 1997. – 124 с.
- 51 Абдрахимов Д.В., Комохов П. Г., Абдрахимов А. В. и др. Керамический кирпич из отходов производств без применения традиционных природных материалов // Строительные материалы. - 2002. - № 8. -С. 26-27.
- 52 Гузман П. Я. Химическая технология керамики. - М.: ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. - 496 с.
- 53 Лысенко Е. И. Технология керамических материалов и изделий. - Ростов-на/Д.: РГСУ, 1998. - 126 с.
- 54 Будников П.П. Химия и технология строительных материалов и керамики. –М.: Стройиздат, 1985. – 607 с.
- 55 Сайбулатов С. Ж. Ресурсосберегающая технология керамического кирпича на основе зол ТЭС / Сайбулатов С. Ж. - Москва : Стройиздат, 1990. - 248 с.
- 56 Котляр В. Д., Лапунова К. А., Козлов Г. А. Стеновые керамические изделия на основе опок и угольных шламов // Пром-Инжиниринг: труды II

Международной науч.-техн. конф. (Челябинск – Новочеркасск – Волгоград – Астана, 19–20 мая 2016 г.). Челябинск: ИД «ЮУрГУ». 2016. – 528–533 с

57 Элинзон М.П., Васильков С.Г. Топливосодержащие отходы промышленности в производстве строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1980. – 223 с

58 Верещагин, В.И. Использование природного и техногенного сырья Сибирского региона в производстве строительной керамики и теплоизоляционных материалов / В.И. Верещагин, В.М. Погребенков, Т.В. Вакалова // Строительные материалы. – 2004. – № 7. – С. 28–31.

59 Гипич Л.В. Особенности вещественного состава отвальных пород шахт Восточного Донбасса и новые направления их использования : дисс. канд. геол.-минерал. наук. Ростов н/Д. : РГУ, 1998. 162 с.

60 Суворова, Д.В. Макаров, В.А. Кумарова, Д.А. Использование отходов обогащения руд для получения строительной керамики с повышенными физико-техническими свойствами // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2017. – № 14. – С. 263–266.

61 Столбоушкин А. Ю., Стороженко Г. И. Отходы углеобогащения как сырьевая и энергетическая база заводов керамических стеновых материалов / А. Ю. Столбоушкин, Г. И. Стороженко // Строительные материалы. - 2011. - № 4. - С. 43-46.

62 Абдрахимов В. З. Керамические материалы из отходов промышленности Восточного Казахстана. // ХХХУ11 научно-техническая конференция. Казахстан 2030: региональные проблемы научно-технического прогресса -1998 - С 15.

63 Сулейменов Ж. Т., Сагындыков А. А., Султанаев К. Т. Подбор составов сырья для керамической черепицы по гранулометрическому составу // Механика и моделирование процессов. – Тараз. – 2002, №2.– 198-202 с.

64 Столбоушкин А.Ю., Бердов Г.И., Верещагин В.И, Фомина О.А. Керамические стеновые материалы матричной структуры на основе неспекающегося малопластичного техногенного и природного сырья // Строительные материалы. – 2016. – № 8. – С. 19–23.

65 Тамбовцева Н.А. Керамические дренажные трубы из отходов углеобогащения: Дис. ... канд. техн. наук. – Красково, 1985. – 199 с.

66 Бурмистров В.Н., Петрова Г.П., Кузьмина А.П., Мельникова Л.С., Климов Е.Я. Исследование отходов углеобогащения для производства стеновых керамических изделий: Сб. науч. тр. ВНИИСтрома. – М., 1975. – 31 79. – с. 3-34.

67 Чижский А.Ф. Экспресс-метод определения чувствительности глин к сушке // Стекло и керамика.- 1986.- №9.- С. 27-29.

68 Хорьков П.Н., Бурмистров В.Н., Кароунина Т.И., Гречина В.В., Степанова А.Н. Исследование сушильных свойств отходов флотации углей: Сб. науч. тр. ВНИИСтрома. – М., 1984. – 51 79. – с. 21-27.

- 69 Нурбатуров К. А. Критериальные уравнения тепло-и массообмена в процессе сушки золокерамики // Сборник депонированных научных работ. – № 79, 2008, – 44-48 с.
- 70 Толкачев В.Я. Технология качественной сушки изделий из глин. Красноярск: Компьютерные технологии, 2008. 142 с.
- 71 Лотов В.А. Регулирование формовочных и сушильных свойств глиняных масс при производстве керамического кирпича // Строительные материалы. 2005. № 3. С. 81 - 85.
- 72 Gomze L. A., Gomze L. N. Relations between the material structures and drying properties of ceramic bricks and roof tiles // Epitoanyag. 2008. Vol. 60. № 4. P. 102-107.
- 73 Чумаченко Н. Г., Кузьмин В. В. К вопросу об улучшении сушильных свойств керамического кирпича // Труды секции «Строительство» Российской инженерной академии: Прогресс и в ные технологические и инвестиционные процессы в строительстве. Вып. 4. Ч. 2.— М.: Издательство Российской инженерной академии, 2003,- С. 33.
- 74 Кожевников В.Ю. Спекание керамических материалов в сверхвысокочастотном электромагнитном поле с переизлучением / В.Ю. Кожевников // Электро- и теплотехнологические процессы и установки: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2003.
- 75 Практикум по технологии керамики и огнеупоров / В.С. Вакунов. В.Л. Балкевич. И.Я. Гузман и др.- М.: Стройиздат. 1992.- 351 с.
- 76 Абдрахимов В. А. Фазовые превращения при обжиге черепицы из техногенного сырья / В.А. Абдрахимов, В.З. Абдрахимов // Изв. вузов. Строительство. 2003. - № 12. - 36-41 с.
- 77 Абдрахимова Е. С. Влияние железосодержащего металлургического шлака на фазовые превращения при обжиге керамических материалов / Абдрахимова Е. С., Долгий В. П.// Материаловедение. 2006. - № 1. - 29-34 с.
- 78 Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Фазовый состав керамических изделий на основе отходов горючих сланцев, углеобогащения, нефтедобычи и золошлаковых материалов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, – 2013. – №4. – 82-95 с.
- 79 Куликов В.А., Абдрахимов В.З., Ковков И.В. Исследование фазового состава керамзита на основе монтмориллонитовой глины и отходов горнообогатительной фабрики при обогащении угля // Известия вузов. Строительство. 2010. №10. С. 37-43.
- 80 Павлов В. Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики. - М.: Стройиздат. - 1977. – 240 с.
- 81 Будников П.П., Полубояринов Д. Н. Химическая технология керамики и огнеупоров: учебник для вузов. - Москва : Стройиздат, 1972. –552 с.
- 82 Кингери У.Д. Введение в керамику. -М.: Стройиздат, 1967. - 237 с.
- 83 Мустафин Н. Р., Ашмарин Г. Д. Фазовые превращения при формировании керамики на основе алюмосодержащих отходов

химического производства и кремнеземистого сырья, Строительные материалы, № 4, 2006 г., с. 18-19.

84 Бурмистров В.Н., Шлыков А.В., Варшавская Д.А. Особенности процесса обжига стеновых керамических изделий из отходов углеобогащения: Сб. науч.тр. ВНИИСтрома. – М., 1974. – 29 57. – с. 13-21.

85 Акишев К.М. Модели и методы анализа технологических систем производства строительных изделий с использованием техногенных отходов. Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.13.06. – Бишкек, 2021. - 23 с.

86 Станевич В. Т., Кудрышова Б. Ч., Смаилова Б. О., Станевич О. В. Использование отходов промышленности для производства керамических дренажных труб // Научный журнал «Наука и техника Казахстана». Павлодарский Государственный университет им. С.Торайгырова. № 1. – 2010 г. 97-105 с.

87 Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев.- М.: Наука. 1987.- 135 с.

88 ТУ 21 КазССР 49-88 «Породы вскрышные надугольной толщи для производства керамических стеновых материалов». Алма-Ата, 1988. Госстрой КаССР. Рег. № 01.86.0033422. Инв. № 092.890.014207. - 11с.

89 ГОСТ 30108-94 Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов. Дата актуализации: 01.01.2021.– М. : Стандартинформ, 2021. – 68 с.

90 Инструкция по изучению токсичных компонентов при разметке угольных и сланцевых месторождений.- М.: Институт Литосферы АН СССР. 1983.- 84 с.

91 Методы минералогических исследований: Справочник / Под ред. А.Н. Гинзбурга. – М.: Недра, 1985. – 480 с.

92 Методы минералогических исследований: Справочник / Под ред. А.Н. Гинзбурга. – М.: Недра, 1985. – 480 с.

93 Бобров А.В., Маракушев А.А.Метаморфическая петрология. Издательство Московского университета, - Москва, 2005 г., 256 стр.

94 Семириков И. С., Михайловой Н. А., Химическая технология керамики: лабораторный практикум / Семириков И. С., Михайлова Н. А. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 114 с.

95 Методические рекомендации по применению. Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Глинистые породы. - М.: МИР, 2007. 37 с.

96 ГОСТ 21216–2014. Сырье глинистое. Методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2015. – 43 с.

97 ГОСТ 9169–75. Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.

98 Брегг У.О.. Кларинбулл Г. Кристаллическая структура минералов.- М.; Мир. 1987.- 390 с

- 99 Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород / Н. В. Логвиненко. -М.: Высшая школа, 1984.-450 с.
- 100 Ралко, А. В. Термодинамические и термографические исследования процессов обжига керамики : монография. — Киев: Вища школа, 1980. – 184 с.
- 101 Рохваргер Е. Л. Строительная керамика. Справочник. - М.: Стройиздат, 1976. -493 с.
- 102 Грим Р.Е. Минералогия и практическое использование глин.- М.: Мир. 1987.- 510 с.
- 103 Мороз, И.И. Технология строительной керамики : учебное пособие / И.И. Мороз. – М. : ЭКОЛИТ, 2011. – 384 с.
- 104 Лукин Е.С.. Андрианов Н.Т. Технический анализ и контроль производства керамики.- М.: Стройиздат. 1986.- 269 с.
- 105 ГОСТ 530–2012. Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2013. – 32 с.
- 106 ГОСТ 7025–91. Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости. – М. : Стандартиформ, 2006. – 12 с.
- 107 ГОСТ 58527-2019. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. – М. : Стандартиформ, 2019. – 15 с.
- 108 Книгина Г. И., Вершинина Э. Н. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и легких пористых заполнителей. – М. : ИАСВ, 2007. – 230 с.
- 109 Методика испытания глинистого сырья для производства обыкновенного и пустотелого кирпича, пустотелых керамических камней и дренажных труб. -М.: ВНИИСтром, 1985. - 92 с.
- 110 Ничипоренко С.П. Физико-химическая механика дисперсных структур в технологии строительной керамики. Киев, «Наукова думка», 1978,- 76 с.
- 111 Абдрахимов В. З., Родин А. П. Отходы производства в составе шихты для изготовления керамических плиток // Комплексное использование минерального сырья. – 1996 . – №8. – 71-73 с.
- 112 Кайракбаев А. К., Абдрахимов В. З., Абдрахимова Е. С. Использование отходов золоторудного месторождения, нефтехимии и энергетики в производстве керамических материалов – перспективное направление для «зеленой» экономики // Экология и промышленность России. – 2015. – № 5. – 37–41 с.
- 113 Рахимова Г.М., Столбоушкин А.Ю., Вышарь О.В., Станевич В.Т., Рахимов М.А. Сушильные свойства и формирование конденсационной структуры керамических изделий на основе вскрышных пород угледобычи. Научный журнал «Труды университета» КарТУ имени Абылкаса Сагинова, - Караганда, № 2 (91). 2023, С. 167-173. ККСОН.
- 114 Сайбулатов С. Ж. Производство керамического кирпича/ С. Ж. Сайбулатов. -М.: Стройиздат, 1989. -201 с.

- 115 Чижский, А.Ф. Сушка керамических материалов и изделий / А.Ф. Чижский. – М. : Стройиздат, 1971. – 176 с.
- 116 Семериков И. С. Технология строительных керамических материалов/ Семериков И. С., Михайлова Н. А., Башкатов Н. Н. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – 256 с.
- 117 Станевич В.Т., Кудрышова Б.Ч., Данилов В.И. Формирование кристаллизационной структуры при обжиге керамических изделий из отходов угледобычи. Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России: труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Сиб. гос. индустр. ун-т; – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ. 2016, – С. 99-102
- 118 Исследование процесса формирования кристаллизационной структуры при обжиге керамической черепицы из отходов угледобычи. Научный журнал Павлодарского государственного университета им.С.Торайгырова, «Вестник ПГУ». № 1, 2002, с. 93-100.
- 119 Lotov, A.V.; Kutugin, V.A. Formation of the porous structure in foam silicates based on liquid glass compositions. Glass Ceram. 2008, - № 65, – С. 6–10.
- 120 Станевич В.Т., Станевич О.В., Смаилова Б.О. Analysis of crystallization processes during firing of ceramic tile made from coal output waste. Научный журнал «Education and science without borders». – Прага: Чехия, 2012. – № 3,., С. 137-139.
- 121 Кара-сал, Б.К. Влияние пониженного давления на процессы газовой выделения при обжиге глины // Стекло и керамика. – 2004. – № 9. – С. 18–20.
- 122 Кара-сал, Б.К. Влияние железистых соединений на спекание глинистых масс при пониженном давлении среды обжига // Стекло и керамика. – 2005. – № 2. – С. 13–16.
- 123 Яценко Н. Д. Научные основы ресурсосберегающих технологий стеновой и облицовочной керамики и управление ее свойствами. - Ростов-на-Дону, 2015. - 364 с.
- 124 Лепихов Р. Д., Вышарь О. В., Станевич В. Т. Кирпич на основе аргиллитов Экибастузского месторождения. Международная научная конференция «Молодые исследователи – регионам», Вологда, 23-24 апреля 2019 г., т.1, -С. 296-298.
- 125 Лепихов Р. Д., Станевич В. Т., Вышарь О. В. Клинкерный кирпич на основе аргиллитов. Международная научно-практическая конференция «XI Торайгыровские чтения» 25 октября 2019 года, г. Павлодар, т.5, -С.270-276.
- 126 Кара-Сал Б.К., Сат Д.Х., Каминский Ю.Д., Очур-Оол А.П. Влияние органических веществ глинистых пород на образование черной сердцевины керамических изделий // Стекло и керамика. - 2008. - № 3. - С. 20-24.
- 127 Vyshar O.V., Rakhimova G.M., Stolboushkin, A.Yu., Stanevich V.T., Rakhimov M.A. Study of the properties of overburdened rocks from coal mining: overburden – as a raw material in the production of ceramic bricks // Intern. Journal

of GEOMATE, July 2023, Vol. 25, Issue 107, pp.86-94, Scopus Q3.
<https://doi.org/10.21660/2023.107.3771>

128 Rakhimova G.M., Stolboushkin, A.Yu., Vyshar O.V., Stanevich V.T., Rakhimov M.A. Strong Structure Formation of Ceramic Composites Based on Coal Mining Overburden Rocks / Journal of Composites Science, 2023, 7(5), 209, Scopus Q2. <https://doi.org/10.3390/jcs7050209>

129 Столбоушкин А.Ю., Рахимова Г.М., Вышарь О.В., Станевич В.Т., Рахимов М.А. Экологические аспекты использования вскрышных пород угледобычи в производстве строительной керамики // Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России: труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Сиб. гос. индустр. ун-т ; – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – С. 212-216.

130 Потапенко Я.В., Рахимова Г.М., Вышарь О.В., Станевич В.Т., Рахимов М.А. Перспективы применения аргиллитов в производстве керамических строительных материалов // Материалы XVIII Международной научно-технической конференции молодых учёных, посвященная памяти профессора В.И. Калашникова «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов» – Пенза: ПГУАС, 2023. – с. 158-163.





РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) U (11) 9175
(51) C04B 14/10 (2006.01)
C04B 33/04 (2006.01)
C04B 33/135 (2006.01)
C04B 35/10 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21) 2023/1104.2

(22) 06.11.2023

(45) 31.05.2024, бюл. №22

(72) Вышарь Ольга Викторовна; Станевич Виктор Тадеушевич; Кудрышова Баян Чакиеновна; Рахимова Галия Мухамедиевна; Рахимов Мурат Аманжолович; Булыга Леонид Леонидович

(73) Вышарь Ольга Викторовна

(56) SU1763418A1, 23.09.1992

(54) **СЫРЬЕВАЯ СМЕСЬ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

(57) Полезная модель относится к строительным материалам, а именно к технологии изготовления эффективных керамических строительных материалов на основе вскрышных пород углеобьичи, глины, и добавки - отхода производства хлористого алюминия - продукта нейтрализации соляной кислотой шламов производства безводного хлорида алюминия структурной формулы $[Al(OH)_xCl_x]_n$, где $x=0,5;1,0;1,5$, $n=2$.

Керамические строительные материалы могут быть использованы в промышленном и гражданском строительстве, при реконструкции и ремонте существующих зданий и сооружений.

Главной задачей настоящей полезной модели является создание керамических строительных материалов на основе вскрышных пород углеобьичи, глины, и добавки - отхода производства хлористого алюминия, повышение

качественных характеристик изделий, снижение энергозатрат и упрощение технологии производства.

Поставленная задача решается предлагаемым составом сырьевой смеси для производства строительных керамических изделий на основе вскрышных пород углеобьичи, глины и добавки - отхода производства хлористого алюминия - продукта нейтрализации соляной кислотой шламов производства безводного хлорида алюминия структурной формулы $[Al(OH)_xCl_x]_n$, где $x=0,5;1,0;1,5$, $n=2$, отличающимся тем, что предлагается степень измельчения сырья доводить до фракции менее 1-2 мм, т.е. более крупной фракции, что сократит энергозатраты на помол сырья, ввести 11-12% легкоплавкой высокопластичной глины и модификатор, отход производства хлористого алюминия 8-9% при следующем соотношении компонентов, мас. %: вскрышные породы углеобьичи - 80; глина - 11-12; отход производства хлористого алюминия - 8-9.

Это позволит жестким способом формования получить керамические строительные изделия с высокими эксплуатационными характеристиками, сниженными энергозатратами, увеличить прочность при сжатии, изгибе и повысить морозостойкость готовых изделий.

Полученные керамические изделия могут быть использованы в промышленном и гражданском строительстве, при реконструкции и ремонте существующих зданий и сооружений.

(19) KZ (13) U (11) 9175

Полезная модель относится к строительным материалам, а именно к технологии изготовления эффективных керамических строительных материалов на основе вскрышных пород угледобычи, глины, и добавки - отхода производства хлористого алюминия - продукта нейтрализации соляной кислотой шламов производства безводного хлорида алюминия структурной формулы $[Al(OH)_xCl_x]_n$, где $x=0,5;1,0;1,5$, $n=2$.

Керамические строительные материалы могут быть использованы в промышленном и гражданском строительстве, при реконструкции и ремонте существующих зданий и сооружений. В настоящее время широко практикуется применение отходов различных промышленных производств в качестве модификаторов глинистого сырья.

В ходе оптимизации технологии необходимо обеспечить ряд требований, предъявляемых к готовой продукции (прочность, морозостойкость, плотность, цвет, водопоглощение, теплопроводность), а также снизить затраты. Обычно улучшение одного показателя за счет введения модификатора сопровождается ухудшением других показателей. Поэтому поиск доступных модификаторов и рецептуры сырьевой смеси с минимальной чувствительностью к условиям формования, сушки и обжига является актуальной и сложной научно-технической задачей.

Известен способ изготовления керамических строительных материалов [а.с. 1301813, МПК⁴ C04B 33/00, опубл. 08.12.86 г., Бюл. №13], заключающийся в использовании в сырьевой смеси отходов угледобычи (артиллиты 50-60%, алевролит 30-40%, углистый сланец 5-10%) и отхода химического производства (10-20%), который образуется в результате получения хлористого алюминия из каолина, обогащенного глиноземом. Добавка вводится для повышения прочности и морозостойкости изделий. Недостатком такого состава сырья являются относительно низкие показатели прочности и морозостойкости изделий.

Наиболее близким по существу и достигаемому результату к заявляемой полезной модели, является сырьевая смесь для получения керамических строительных материалов на основе вскрышных пород угледобычи, [а.с. 1763418, МПК⁴ C04B 33/00, опубл. 22.05.92 г., Бюл. №35, (прототип)].

Суть изобретения заключается в том, что сырьевая масса содержит вскрышные породы угледобычи 93-97% и добавку - отход производства хлористого алюминия 3-7% - продукт нейтрализации соляной кислотой шламов производства безводного хлорида алюминия. При этом происходит повышение механической прочности и морозостойкости за счёт улучшения реологических свойств формовочных пластичных масс. Вскрышные породы угледобычи измельчают до фракции менее 0,5 и увлажняют её водой затворения, смешанной с продуктом нейтрализации, соляной кислотой шламов производства безводного хлорида алюминия, затем пластическим способом формуют брус, производят его сушку и обжиг.

Недостатком такого состава является неоднородность основного сырья - вскрышных пород угледобычи, имеющих различный литологический тип и добываемых на различных горизонтах залегания, что потребует постоянной корректировки состава сырья и технологических параметров производства.

Главной задачей настоящей полезной модели является создание керамических строительных материалов на основе вскрышных пород угледобычи, глины, и добавки - отхода производства хлористого алюминия, повышение качественных характеристик изделий, снижение энергозатрат и упрощение технологии производства.

Поставленная задача решается предлагаемым составом сырьевой смеси для производства строительных керамических изделий на основе вскрышных пород угледобычи, глины и добавки - отхода производства хлористого алюминия - продукта нейтрализации соляной кислотой шламов производства безводного хлорида алюминия структурной формулы $[Al(OH)_xCl_x]_n$, где $x=0,5;1,0;1,5$, $n=2$, отличающимся тем, что предлагается степень измельчения сырья доводить до фракции менее 1-2 мм, т.е. более крупной фракции, что сократит энергозатраты на помол сырья, ввести 11-12% легкоплавкой высокопластичной глины и модификатор, отход производства хлористого алюминия 8-9% при следующем соотношении компонентов, мас. %: вскрышные породы угледобычи - 80;

глина - 11-12; отход производства хлористого алюминия - 8-9.

Технология изготовления сырьевой смеси для получения керамических строительных материалов на основе вскрышных пород состоит в следующем:

Для приготовления сырьевой смеси вскрышные породы угледобычи совместным помолом с глиной измельчают до фракции менее 1-2 мм и увлажняют её водой затворения, смешанной с модификатором, отходом производства хлористого алюминия - продуктом нейтрализации соляной кислотой шламов производства безводного хлорида алюминия структурной формулы $[Al(OH)_xCl_x]_n$, до нормальной формовочной влажности 14%. Изделия готовят по жесткому способу формования. Продолжительность сушки составляет 8-10 часов, остаточная влажность сырья 3-4%. Обжиг производится при 960-970°C в туннельной печи. Продолжительность изотермической выдержки при максимальной температуре обжига - 2 ч.

Известно, что в естественном виде вскрышные породы угледобычи не размокают в воде, что требует их механического измельчения с целью разрушения цементационных связей глинистых составляющих.

Отличием от прототипа является то, что предлагается степень измельчения сырья доводить до фракции менее 1-2 мм, т.е. более крупной фракции, что сократит энергозатраты на помол сырья, ввести 11-12% легкоплавкой

высокопластичной глины и модификатор, отход производства хлористого алюминия 8-9%.

В качестве жидкой добавки для улучшения структурно-механических свойств масс из вскрышных пород использовали высокоосновной технический оксихлорид алюминия, который получают растворением в воде шламов производства безводного хлорида алюминия с последующей нейтрализацией соляной кислотой, образовавшийся в растворе вследствие гидролиза последнего, взаимодействием с металлическим окислителем. Состав оксихлорида алюминия соответствует формуле $[Al(OH)_xCl_x]_n$, где $x=0,5$; $n=2$.

При этом улучшаются формовочные свойства масс, снижается их формовочная влажность, улучшается пластичность сырьевой смеси, что приводит в итоге к увеличению прочности на сжатие, изгиб и повышению морозостойкости готовых изделий, таблица 1.

Введением глины и добавки, так же устраняется неоднородность вскрышных пород угледобычи различных литологических типов и горизонтов залегания, что очень актуально.

Изделия предлагается производить по жесткому способу формования, при формовочной влажности 14%, что также снижает энергозатраты при последующей сушке и обжиге.

Таблица 1

Характеристики изготовленных керамических изделий

| № | Наименование параметров | Показатели |
|---|------------------------------|-------------|
| 1 | Плотность, кг/м ³ | 1450 – 1570 |
| 2 | Водопоглощение, % | 7,2 – 9,1 |
| 3 | Прочность на сжатие, МПа | 47,5 – 54,2 |
| 4 | Прочность на изгиб, МПа | 4,2 – 4,6 |
| 5 | Морозостойкость, цикл | 100 |

Сравнительный анализ с прототипом позволяет сделать вывод, что заявляемый состав отличается от известного состава использованием новых компонентов, а именно: легкоплавкой глины в количестве 11-12% и отхода производства хлористого алюминия - продукта нейтрализации соляной кислотой шламов производства безводного хлорида алюминия структурной формулы $[Al(OH)_xCl_x]_n$ в количестве 8-9%.

В качестве жидкой добавки для улучшения структурно-механических свойств масс из вскрышных пород использовали высокоосновной технический оксихлорид алюминия, который получают растворением в воде шламов

производства безводного хлорида алюминия с последующей нейтрализацией соляной кислотой, образовавшийся в растворе вследствие гидролиза последнего, взаимодействием с металлическим окислителем. Состав оксихлорида алюминия соответствует формуле $[Al(OH)_xCl_x]_n$, где $x=0,5$; $n=2$.

Пример 1 Для примера принят состав при следующем соотношении компонентов, мас. %:

вскрышные породы угледобычи – 80;
глина – 12;
отход производства хлористого алюминия – 8.
Технологические приемы и параметры неизменны.

Таблица 2

Характеристики изготовленных керамических изделий

| № | Наименование параметров | Показатели |
|---|------------------------------|------------|
| 1 | Плотность, кг/м ³ | 1480 |
| 2 | Водопоглощение, % | 9,1 |
| 3 | Прочность на сжатие, МПа | 47,5 |
| 4 | Прочность на изгиб, МПа | 4,2 |
| 5 | Морозостойкость, цикл | 100 |

Пример 2 Для примера принят состав при следующем соотношении компонентов, мас. %:

вскрышные породы угледобычи – 80;
глина – 11;

отход производства хлористого алюминия – 9.
Технологические приемы и параметры неизменны.

Характеристики изготовленных керамических изделий

| № | Наименование параметров | Показатели |
|---|------------------------------|------------|
| 1 | Плотность, кг/м ³ | 1570 |
| 2 | Водопоглощение, % | 7,2 |
| 3 | Прочность на сжатие, МПа | 54,2 |
| 4 | Прочность на изгиб, МПа | 4,6 |
| 5 | Морозостойкость, цикл | 100 |

Таким образом, заявляемое техническое решение соответствует критерию «Новизна».

Сравнение предлагаемого состава сырьевой смеси для получения керамических строительных материалов на основе вскрышных пород не только с прототипом, но и с другими составами показало, что в технике не известен керамический строительный материал, в котором бы использовалось предложенное сочетание компонентов и приведенные технологические приемы.

Именно такое сочетание компонентов сырьевой смеси позволило получить керамический строительный материал на основе вскрышных пород с высокими эксплуатационными характеристиками и сниженными энергозатратами, увеличить прочность при сжатии, изгибе и повысить морозостойкость готовых изделий, т.е. решить поставленную задачу, что дает основание считать данное техническое решение обладающим изобретательским уровнем.

Ресурсосберегающий состав сырьевой смеси и энергоэффективная технология производства

керамических изделий на основе вскрышных пород угледобычи позволит значительно снизить себестоимость кирпича, восполнить недостаток кондиционного глинистого сырья и улучшить экологическую обстановку.

ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ

Сырьевая смесь для производства строительных керамических изделий на основе вскрышных пород угледобычи и добавки - отход производства хлористого алюминия *отличающаяся* тем, что дополнительно содержит легкоплавкую высокопластичную глину, причем смесь вскрышных пород угледобычи и легкоплавкой высокопластичной глины измельчена до фракции менее 1-2 мм, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

| | |
|--|-------|
| вскрышные породы угледобычи | 80 |
| легкоплавкая высокопластичная глина | 11-12 |
| отход производства хлористого алюминия | 8-9 |

Верстка Д. Оразбаева
Корректор Г. Косанова

Акт внедрения в учебный процесс

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НАО ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ

СОГЛАСОВАНО

Член Правления по научной работе и
международному сотрудничеству-
проректор

д.б.н., профессор
Н. Ержанов
« 2 » « 12 » 2024 г.



УТВЕРЖДАЮ

Член Правления по
академическим вопросам,
к.т.н., профессор

П. Быков
« 5 » « 12 » 2024 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования
на тему: «**Исследование процессов формирования структуры и
прогнозирование свойств керамического кирпича на основе отходов
угольной промышленности**»

на соискание степени доктора философии (PhD) по ОП 6D073000 –
«Производство строительных материалов, изделий и конструкций»
автора Вышарь О.В. в учебный процесс

Учебно-методический совет факультета «Архитектуры и
строительства» в составе председателя, заместитель декана по научной
работе Абишевой С.И., и членов:

Маханов С.Н. – м.т.н., заместитель декана по учебной работе –
председатель
Муқышев А.К. – м.т.н. секретарь;
Жукунова Г.А. – PhD, декан факультета;
Абишева С.И. – к.п.н., заместитель декана по научной работе;
Ахметова А.А. – магистр, заместитель декана по воспитательной работе;
Булыга Л.Л. – к.т.н., руководитель ОП «Архитектура и дизайн»;
Макашев К.Т. - PhD, руководитель ОП «Промышленное и гражданское
строительство» и ОП «Транспортное строительство»;
Далабаева А.К. – методист ОП «Промышленное и гражданское
строительство» и ОП «Транспортное строительство»;
Орынтаев Ж.К. – м.т.н., ст. преподаватель ОП «Промышленное и
гражданское строительство» и ОП «Транспортное строительство»;
Глеулесов А.К. - м.т.н., ст. преподаватель ОП «Промышленное и
гражданское строительство» и ОП «Транспортное строительство»;
Станевич В.Т. – к.т.н., профессор ОП «Архитектура и дизайн»

составили настоящий акт о том, что в 2023-2024 учебном году на ОП «Архитектура и дизайн» факультета «Архитектуры и строительства» на основании рабочей программы (Syllabus) учебной дисциплины «Ресурсо- и энергосберегающие технологии производства строительных материалов» ОП 6В07303 – «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» для обучающихся бакалавриата были осуществлены следующие внедрения.

| Форма внедрения (наименование нового курса, спецкурса, раздела лекций, лаб. работы, установки, учебного пособия, программное обеспечение и т.д.) | Объем внедрения (количество работ, лекц. час) | Наименование внедрения (краткое содержание внедренной работы, с указанием публикаций, заявок, докладов на конференциях) |
|--|--|---|
| <p>Раздел лекций учебной дисциплины «Ресурсо- и энергосберегающие технологии производства строительных материалов» ОП 6В07303 – «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» для обучающихся бакалавриата</p> | <p>Дисциплина: 120 часов (4кредита) Лекция- 2 ч. Практ.- 3 ч. СРС -10 ч.</p> | <p>Лекция 5: Технологии строительных материалов из отходов топливно-энергетической промышленности. Исследование процессов формирования структуры и прогнозирование свойств керамического кирпича с использованием вскрышных пород угледобычи Практическое занятие 3: Особенности состава отходов топливно-энергетической промышленности. Силикатные и керамические материалы на основе вскрышных пород угледобычи, зол и шлаков ТЭС. Технология производства керамического кирпича с использованием вскрышных пород угледобычи Статьи: 1 Study of the properties of overburdened rocks from coal mining: overburden – as a raw material in the production of ceramic bricks. Intern. Journal of GEOMATE, July 2023, Vol. 25, Issue 107, pp.86-94, Scopus Q3. https://doi.org/10.21660/2023.107.3771 2 Strong Structure Formation of Ceramic Composites Based on Coal Mining Overburden Rocks. Journal of Composites Science, 2023, 7(5), 209, Scopus Q2. https://doi.org/10.3390/jcs7050209 3. Сушильные свойства и формирование конденсационной структуры керамических изделий на основе вскрышных пород угледобычи. Научный журнал «Труды университета» КарГУ им.Сагинова, -Караганда, № 2 (91). 2023, с 167-173. ККСОН. 4 Analysis of energy efficiency of building</p> |

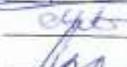
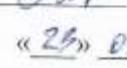
| | |
|--|--|
| | envelopes of JSC "Station EGRES-2". AIP Conference Proceedings» (ISSN 0094-243X). Издательство AIP Publishing, США. 2559, 050006, 2022 г., Scopus. https://doi.org/10.1063/5.0100151 5 Заявка № 245354 на полезную модель «Сырьевая смесь для производства строительных керамических изделий» |
|--|--|

К акту приложены:

- протокол заседания коллектива ОП «Архитектура и дизайн»;
- рабочая программа (Syllabus) дисциплины «Ресурсо- и энергосберегающие технологии производства строительных материалов».

Материалы к настоящему акту рассмотрены на заседании УМС факультета (протокол № 7 от 28 02 2024 года)

Председатель комиссии

 Маханов С.Н.
 Мукышев А.К.
 Абишева С.И.
 Ахметова А.А.
 Булыга Л.Л.
 Макашев К.Т.
 Далабаева А.К.
 Орынтаев Ж.К.
 Тлеулесов А.К.
 Станевич В.Т.
 Жукенова Г.А.

Декана факультета

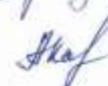
«28» 02 2024 г.

и.о. директор НИ НУВ



М.С. Крыкбаева

Директор ДАД



А.Ж. Касенов

Примечание: акты внедрения в 3-х экземплярах

Акт внедрения в производственный процесс



АКТ

о выпуске опытной партии керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи и добавок

Настоящий акт составлен со стороны ТОО «Yer-Min-Brick»: директором Шункеевым А.А., главным инженером Темирбековым А.

Со стороны Карагандинского технического университета: к.т.н., ассоц. профессором, доцентом кафедры «Строительные материалы и технологии» Рахимовой Г.М., докторантом кафедры «Строительные материалы и технологии» Вышарь О.В.

Со стороны Торайгыров университета: профессором факультета архитектуры и строительства, к.т.н. Станевичем В.Т., магистрантом факультета архитектуры и строительства Потапенко Я.В.

Акт составлен о том, что в период с 19.02.24 г. по 24.02.24 г. на технологической линии по производству керамического кирпича ТОО «Yer-Min-Brick» проведены испытания по выпуску опытной партии керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи и добавок пластическим способом формования в объеме 1200 штук.

Состав шихты, мас. %:

- вскрышные породы угледобычи – 80;
- глина – 17-18;
- отход производства хлористого алюминия – 2-3.

Для приготовления сырьевой смеси, вскрышные породы угледобычи совместным помолом с глиной, измельчали до фракции менее 1-2 мм и увлажняли её водой затворения, смешанной с модификатором, отходом производства хлористого алюминия до нормальной формовочной влажности 20%.

Дробление и измельчение производили в молотковой мельнице. Порошок поступает в бункер запаса. Осаждение порошка производится в системе циклонов с газоочисткой. Из бункера-накопителя порошок подается на переработку в смесителе.

Переработка осуществлялась в двухвальном лопастном смесителе, где производится предварительное увлажнение порошка до влажности 10-12 %.

Последующая переработка массы производилась в двухвальном смесителе с фильтрующей решеткой, где увлажнялась горячей водой или

паром до влажности 16-18 %. Масса гомогенизируется и проходит через протирочную решетку.

Технологические параметры формования и характеристики кирпича-сырца:

- разрежение при формовании на вакуум-прессе – 0,9 КПа;
- формовочная влажность массы – 20 %;
- температура бруса – 30-50 °С;
- сырцовая прочность – 0,11-0,14 МПа;
- пустотность кирпича – 27;
- масса свежеформованного кирпича-сырца – 3,6-3,7 кг.

Резка бруса производится многострунным резательным автоматом.

Сушка отформованных изделий производилась в туннельных сушилках при следующих технологических параметрах:

- теплоноситель – дымовые газы и подогретый воздух;
- начальная температура теплоносителя – 100 °С;
- температура отработанного теплоносителя – 40 °С;
- относительная влажность теплоносителя – 45-90%;
- продолжительность сушки – 32 часа;
- остаточная влажность изделия – 4-8 %;
- усадка после сушки – 3,5-4,0 %.

Высушенные изделия обжигались в туннельной печи при следующих технологических параметрах:

- температура обжига – 980 °С;
- продолжительность обжига – 48 часов;
- выдержка при максимальной температуре – 2 часа;
- общая усадка изделия – 7 %;
- масса изделий после обжига – 3,3- 3,4 кг;
- брак при обжиге - 2 %.

Полученный керамический кирпич, отвечает требованиям ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» со следующими физико-механическими показателями:

- марка изделий – 100-125;
- водопоглощение – 11-14 %;
- морозостойкость – 35-50 циклов;
- средняя плотность – 1450 – 1570 , кг/м³

Характеристики полученных изделий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики изготовленных изделий

| № | Наименование параметров | Показатели |
|---|--------------------------------------|-------------|
| 1 | Средняя плотность, кг/м ³ | 1450 – 1570 |
| 2 | Водопоглощение, % | 10 – 12 |
| 3 | Прочность на сжатие, МПа | 11,5 – 14,2 |
| 4 | Прочность на изгиб, МПа | 1,6 – 1,9 |
| 5 | Морозостойкость, цикл | 35 – 50 |

Настоящий акт составили:

| | |
|---|----------------|
|  | Шункеев А.А. |
|  | Темирбеков А. |
|  | Рахимова Г.М. |
|  | Вышарь О.В. |
|  | Станевич В.Т. |
|  | Потапенко Я.В. |

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Протокол испытаний керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи ЕУБ



KZ.T.14.E0364
TESTING

Павлодарский филиал АО «Национальный Центр экспертизы и сертификации»
Испытательный центр
Лаборатория по испытанию строительных материалов и промышленной продукции
Аттестат аккредитации № KZ.T.14.E0364 действителен до 30.06.2026 г
140007, г. Павлодар, ул. Жамбылская, 2
тел. +7(7182) 390-688 (вн.9032,9033)
факс +7(7182) 60-50-02



Ф 04 ДП 7.8-01

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 0540-СП от 28 марта 2024 г

Всего страниц 1, страница 1

| | |
|--|---|
| Наименование и адрес заказчика: | ЧЛ Вышарь О.В., Павлодарская обл., г. Павлодар, ул. Павлова, 38-158 |
| Наименование продукции, идентификация объектов испытаний: | Кирпич керамический рядовой пустотелый КР-р-пу 250×120×65/1НФ/125/2,0/50, изготовленный из вскрышных пород угледобычи Экибастузского угольного бассейна |
| Изготовитель продукции (страна, предприятие): | РК, ЧЛ Вышарь О.В. |
| Дата изготовления продукции: | Не известна |
| Отбор образцов продукции: | ГОСТ 530-2012 Образцы предоставлены заказчиком |
| Дата поступления объектов испытаний: | 01.03.2024 г |
| Дата проведения испытаний: | 01.03–28.03.2024 г |
| Обозначение НД, на соответствие которым проводились испытания: | ГОСТ 530-2012 |
| Вид испытаний: | Испытания с целью подтверждения качества |
| Основание для проведения испытаний: | Договор на проведение испытаний № 105/06-СП от 01.03.2024 г |
| Условия проведения испытаний: | Температура воздуха в помещении 21 °С Относительная влажность воздуха 64 % |

| Наименование показателей, единицы измерения | Обозначение НД на методы испытания | Требования НД | Фактически полученные результаты |
|--|------------------------------------|--|--|
| Средняя плотность, кг/м ³ | ГОСТ 7025-91 | 1410-2000 | 1512 |
| Предел прочности при сжатии, МПа, не менее: -средний для 5 образцов -наименьший для отдельного образца | ГОСТ 8462-85 | 12,5 10,0 | 14,3 11,8 |
| Предел прочности при изгибе, МПа, не менее: -средний для 5 образцов -наименьший для отдельного образца | | 1,6 0,8 | 1,9 1,2 |
| Водопоглощение, % не менее | ГОСТ 7025-91 | 6,0 | 12,1 |
| Морозостойкость, F50 (циклов) | | В насыщенном водой состоянии кирпичи должны выдерживать без каких-либо видимых признаков повреждений или разрушений - растрескивание, шелушение, выкрашивание, отколы (кроме отколов от известковых включений) | В насыщенном водой состоянии растрескивание, шелушение, выкрашивание, отколы отсутствуют |
| Удельная эффективная активность естественных радионуклидов A _{эфф} +Δ, Бк/кг, не более | ГОСТ 30108-94 | 370 | 102+14 |

Начальник Испытательного центра
Ответственный за подготовку протокола
Начальник испытательной лаборатории



Лубакирова М.А.
Бестаева А.Я.

Протокол распространяется только на объекты, подвергнутые испытанию
Частичная перепечатка протокола без разрешения ИЦ ПФ АО «НЦЭКС» запрещена

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
Технологический регламент производства керамического кирпича из
вскрышных пород угледобычи ЕУБ

ТОО «YER-MIN-BRICK»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ТОО «Yer-Min-
Brick» _____
А.А. Шункеев
« 22 » / 02 / 2024 г.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
производства керамического кирпича из вскрышных пород
угледобычи пластическим способом формования

РАЗРАБОТАЛИ:

Главный инженер ТОО «Yer-Min-Brick» _____ Темирбеков А.
Асс.профессор кафедры СМиТ КарТУ _____ Рахимова Г.М.
Докторант кафедры СМиТ КарТУ _____ Вышарь О.В.
Профессор Торайгыров университета: _____ Станевич В.Т.
Магистрант Торайгыров университета: _____ Потапенко Я.В.

Технологический регламент производства керамического кирпича из вскрышных пород угледобычи пластическим способом формования

Настоящий технологический регламент действует с 2024 года.

Технологический регламент разработан Карагандинским техническим университетом им.А.Сагинова, Торайгыров университетом по результатам экспериментальных исследований вскрышных пород угледобычи с добавками и технологических испытаний в производственных условиях ТОО «Yer-Min-Brick» и предназначен для организации промышленного производства керамического кирпича способом пластического формования.

Общая характеристика производства

Производственный комплекс ТОО «Yer-Min-Brick» включает в себя производственный корпус, склад сырья и склад готовой продукции, административно-бытовые помещения. Производственный корпус состоит из отделений подготовки сырья, формования, сушки и обжига продукции.

1 Характеристика сырья

- естественная влажность вскрышной породы – 1-10 %;
- содержание органического углерода – 4-5 %;
- выход летучих – до 5 %;
- содержание – до 1 %;
- плотность породы – до 2000 кг/м³;
- крупность кусков породы – до 500 мм;
- прочность породы при сжатии – до 40 МПа;
- теплотворная способность породы – 450- 600 ккал/кг;
- температура воспламенения углерода, содержащегося в породе – 500-600 °С.

Таблица 1 – Химический состав сырья

| Наименование сырья | Оксиды, % | | | | | | | | | | | |
|--------------------|------------------|--------------------------------|------------------|--|------|-----|------|-------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|--------|
| | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ +FeO | MgO | MnO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | SO ₃ | п.п.п. |
| вскрышные породы | 57,7 | 17,7 | 0,85 | 6,4 | 1,2 | 0,1 | 0,77 | 0,57 | 2,39 | 0,3 | 0,10 | 11,0 |
| глина | 60,2 | 18,73 | 1,02 | 6,37 | 1,10 | 0,1 | 1,28 | 0,20 | 0,80 | 0,12 | 0,83 | 9,73 |

По минералогическому составу вскрышные породы относятся к полиминеральной группе с содержанием глинистых минералов до 30 %. Среди глинистых минералов преобладают каолинит и гидрослюда, в незначительном количестве содержатся монтмориллонит и примеси полевого шпата, пирита, барита

2 Требования к шихте

Состав шихты, масс. %:

- вскрышные породы угледобычи – 80;
- глина – 17-18;
- отход производства хлористого алюминия – 2-3.

Формовочная влажность – 20 %.

Качество подготовки – получение гомогенной керамической массы.

3 Технология производства

Технологическая схема производства:

- породозапасник;
- щековая дробилка;
- конусная дробилка;
- мельница молотковая тангенциальная;
- система циклонов с газоочисткой или электрофильтрами;
- смеситель двухвальный;
- смеситель с фильтрующей решеткой;
- вакуум-пресс ленточный;
- многострунный резательный автомат;
- туннельная сушилка;
- туннельная печь;
- склад готовой продукции.

При использовании для производства керамического кирпича из вскрышных пород другого комплекта оборудования, необходимо внести изменения в соответствии с приведенной технологической схемой настоящего регламента.

4 Подготовка шихты

Дробление вскрышной породы осуществляется на щековой дробилке до крупности кусков 100 ± 20 мм.

Измельчение породы производится в конусной дробилке до кусков с максимальным размером 25 мм.

Окончательный помол до фракции менее 0,5 мм с подсушкой размалываемой породы осуществляется в молотковой тангенциальной мельнице. Подсушка породы производится топочными газами от сгорания мазута в специальной топке. Для подачи теплоносителя устанавливают вентиляторы типа ВДВ. Порошок поступает в бункер запаса. Осаждение порошка производится в системе циклонов с газоочисткой или с электрофильтрами.

Из бункера-накопителя порошок подается на переработку в смеситель.

Переработка осуществляется в двухвальном лопастном смесителе, где производится предварительное увлажнение порошка до влажности 10-12 %. Подача воды регулируется вентилем, расположенным у смесителя.

Последующая переработка массы производится в двухвальном смесителе с фильтрующей решеткой, где увлажняется горячей водой или паром до влажности 16-18 %, гомогенизируется и проходит через протирающую решетку.

На всех переделах по дроблению, измельчению, помолу и транспортировке сырьевых материалов необходимо предусмотреть мероприятия против пыления с выполнением требований соответствующих нормативных документов.

Во избежание зависания породы целесообразно рассмотреть вопрос набора бункеров цилиндрической формы. Выбор углов откоса в бункерах-накопителях нецилиндрической формы и ящичных питателях следует производить по значениям начального сопротивления сдвига перерабатываемой породы с учетом влажностного состояния шихты. Сводные данные по характеристике породы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристические данные вскрышных пород

| Влажность породы | Объемная насыпная плотность, кг/м ³ | Угол откоса (наклона) | Начальное сопротивление сдвига, Па |
|---------------------------------------|--|-----------------------|------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Воздушно-сухое состояние | 1000 | 45-50 ° | 73,1 |
| Влажность предварительного увлажнения | 1050 | 20-25 ° | 117,5 |
| Формовочная влажность | 1100 | 25-30 ° | 154,3 |

5 Формование изделий

Технологические параметры формования и характеристика кирпича-сырца:

- разрежение при формовке на вакуум-прессе – не менее 0,9 кПа;
- формовочная влажность массы – 20 %;
- температура бруса – 30-50 °С;
- сырцовая прочность – 0,11-0,14 МПа;
- пустотность кирпича – до 27 %;
- масса свежеформованного кирпича-сырца – 3,6-4,6 кг.

Резка бруса производится многострунным резательным автоматом.

6 Сушка

Сушка отформованных изделий производится в туннельных сушилах при следующих технологических параметрах:

- теплоноситель – дымовые газы и подогретый воздух;
- начальная температура теплоносителя – 100 °С;
- температура отработанного теплоносителя – 40 °С;
- относительная влажность теплоносителя – 45-90%;
- продолжительность сушки – 32 часа;
- остаточная влажность изделия – 4-8 %;
- усадка после сушки – 3,5-4,0 %.

7 Обжиг

Высушенные изделия обжигаются в туннельной печи при следующих технологических параметрах:

- температура обжига – 980 °С;
- продолжительность обжига – 48 часов;
- выдержка при максимальной температуре – 2 - 4 часа;
- общая усадка изделия – 7 %;
- масса изделий после обжига – 3,2- 4,0 кг;
- брак при обжиге - 2 %.

Соблюдение требований настоящего технологического регламента обеспечивает получение керамических изделий, отвечающих требованиям ГОСТ 530-2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» со следующими физико-механическими показателями:

- марка изделий – 100-150;
- водопоглощение – 11-14 %;
- морозостойкость – 35-50 циклов;
- плотность – 1,35-1,50 г/см³.

8 Маркировка

На лицевую поверхность изделия в процессе изготовления наносят любым способом товарный знак или краткое наименование предприятия-изготовителя.

Маркировку наносят на каждую упаковочную единицу. В одной упаковочной единице должно быть не менее 20 % идентифицируемых изделий. Маркировка может быть нанесена непосредственно на упаковку или на этикетку, которую наклеивают на упаковку, или на ярлык, прикрепляемый к упаковке способом, обеспечивающим его сохранность при транспортировании.

Маркировка должна содержать:

- наименование предприятия-изготовителя (и/или его товарный знак) и адрес;
- условное обозначение изделия;
- номер партии и дату изготовления;
- число изделий в упаковочной единице, шт. (кг);
- массу упаковочной единицы, кг;
- группу по теплотехнической эффективности;
- знак соответствия при поставке сертифицированной продукции (если предусмотрено системой сертификации).

Предприятие-изготовитель имеет право наносить на упаковку дополнительную информацию, не противоречащую требованиям настоящего стандарта и позволяющую идентифицировать продукцию и ее изготовителя.

Каждое грузовое место (транспортный пакет) должно иметь транспортную маркировку в соответствии с ГОСТ 14192.

9 Упаковка

Изделия должны быть уложены на поддон способом, обеспечивающим сохранность упаковочной единицы при хранении и транспортировании.

Уложенные изделия должны быть упакованы в термоусадочную или растягивающуюся пленку или другие материалы, обеспечивающие сохранность изделий.

В одной упаковочной единице должны быть изделия одного условного обозначения. По согласованию с потребителем допускаются другие виды упаковки, обеспечивающие сохранность изделий при транспортировании.