



ZHANGIR KHAN
UNIVERSITY

**ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКИЙ АГРАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ЖАНГИР ХАНА**

С.А. Монтаев

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА
КЕРАМИЧЕСКОЙ БРУСЧАТКИ
МЕТОДОМ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ
НА ОСНОВЕ ПРИРОДНЫХ
И ТЕХНОГЕННЫХ СЫРЬЕВЫХ
РЕСУРСОВ КАЗАХСТАНА**

Монография

**Уральск
2025**



**ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКИЙ
АГРАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ЖАНГИР ХАНА**

С.А. Монтаев

**Технология производства керамической
брусчатки методом вибропрессования на
основе природных и техногенных сырьевых
ресурсов Казахстана**

Монография

**Уральск
2025**

УДК 622.35.093
ББК 35.41
М77

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Рекомендовано к печати Ученым Советом Западно-Казахстанского
аграрно-технического университета имени Жангир хана
(протокол №2, 26.09.2025 г.)**

Рецензенты:

Нуғижин **Ж.С.**, д.т.н., профессор, директор Казахстанского многопрофильного института реконструкции и развития (КазМИРР), Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова

Нуралин Б.Н., д.т.н., профессор Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана

Монтаев С.А.

М77 Технология производства керамической брусчатки методом вибропрессования на основе природных и техногенных сырьевых ресурсов Казахстана: Монография / С.А. Монтаев – Уральск: ЗКАТУ имени Жангир хана, 2025. – 115 с.

ISBN 978-601-319-650-3

В монографии представлены результаты исследований по разработке эффективной технологии производства керамических брусчаток на основе природных и техногенных ресурсов Казахстана. В развитых странах мира керамические брусчатки — это материалы, которые обеспечивают износостойкость поверхности автомагистралей, а также улиц, тротуаров, пешеходных дорожек, внутренних дворов и других аналогичных объектов. Исследованы составы керамических масс на основе суглинка с добавлением бентонита, гранулированных доменных шлаков и инициаторов спекания и кристаллизации с целью получения керамической брусчатки методом вибропрессования.

Установлено, что увеличение количества добавки доменного гранулированного шлака до 35% переводит керамическую массу в категорию малочувствительных смесей. Это позволяет, производит сушку отформованных образцов в ускоренном темпе без сушильных трещин. Установлено, что с увеличением количества добавки гранулированного шлака до 35% рост прочности образцов при температуре обжига 1000°C составляет почти в 1,5 раза по сравнению с минимальным содержанием шлака.

Полученные изделия отвечают требованиям качества, эстетичности, экологичности, ресурсо- и энергосбережения.

Монография предназначена для научных работников и специалистов, научно-исследовательских и проектных организации и предприятий промышленности строительных материалов, преподавателей, магистрантов, докторантов и студентов строительных специальностей.

УДК 622.35.093
ББК 35.41

ISBN 978-601-319-650-3

© Монтаев С.А., 2025
© НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический

	ВВЕДЕНИЕ.....	6
1.	Анализ современного производства керамических материалов.....	8
1.1	Основные тенденции развития производства керамических материалов.....	8
1.2	Анализ факторов, формирующих структурообразования керамических масс с использованием отходов промышленности в процессе формования, сушки и обжига.....	11
1.3	Перспектива использования модифицированных керамических масс для производства керамической брусчатки.....	18
2.	Методы проведения исследований. Выбор объектов исследований.....	23
2.1	Исследование основных физико-химических и технологических свойств глинистого сырья.....	23
2.1.1	Общие сведения о сырьевых материалах. Макроскопическая характеристика глинистых сырьевых материалов.....	23
2.1.2	Химический состав глин.....	24
2.1.3	Определение минерального состава глин.....	24
2.1.3.1	Рентгенофазовый анализ глин.....	25
2.1.3.2	Термический анализ глин.....	25
2.1.3.2	Дилатометрический анализ глин.....	25
2.2	Определение гранулометрического состава, крупно-зернистых включений и запесоченность глин.....	28
2.3	Определение пластичности глин.....	28
2.4	Определение чувствительности глин к сушке.....	28
3.	Состав, свойства и структура керамических масс для производства керамической брусчатки методом вибропрессования.....	30
3.1	Исследование дообжиговых свойств сырьевой композиции для производства керамических брусчаток методом вибропрессования в системе суглинок – бентонит.....	30
3.2	Исследование составов и физико-механических свойств сырьевой композиции для производства керамических брусчаток в системе суглинок – бентонит.....	33
3.3	Влияние температуры обжига на изменения физико-механических свойств образцов исследуемых сырьевых	

	композиции для производства керамических брусчаток методом вибропрессования в системе суглинок – бентонит.....	38
3.4	Исследования сырьевой смеси при использовании эффективных добавок обеспечивающие интенсификацию процессов спекания и кристаллизации (ИСК) керамических масс для производства керамических брусчаток методом вибропрессования.....	40
3.4.1	Керамическая композиция для производства керамических брусчаток методом вибропрессования в системе суглинок-бентонит-гранулированный доменный шлак.....	40
3.4.2	Керамическая композиция для производства керамических брусчаток методом вибропрессования в системе суглинок-бентонит – ИСК.....	51
3.4.3	Керамическая композиция для производства керамических брусчаток методом вибропрессования в системе суглинок-тальк.....	62
4.	Исследование и разработка технологических параметров производства керамической брусчатки на основе керамических композиций.....	68
4.1	Разработка оптимальных технологических параметров на стадии подготовки керамических композиций.....	68
4.1.1	Разработка оптимальных технологических параметров при вибропрессовании керамических композиций и изучение физико-механических свойств отформованных сырцовых керамических брусчаток.....	68
4.1.2	Разработка рационального режима сушки обжига изделий...	70
5.	Опытно-промышленное испытание и освоение технологии вибропрессования применительно к производству керамических брусчаток на основе разработанных составов керамических масс и технико-экономическая эффективность.....	78
5.1	Опытно - промышленное освоение технологии вибропрессования на основе разработанных составов керамических композиций.....	78
	Основные выводы.....	81
	Список использованных источников.....	84
	Приложения	96
	Приложение 1 Список опубликованных работ по теме монографии	96
	Приложение 2 Фотоматериалы по проведению научно – экспериментальных работ.....	98

Приложение 3 Резюме автора.....	110
--	------------

ВВЕДЕНИЕ

Промышленность строительных материалов является одним из ключевых и важнейших секторов экономики Республики Казахстан, базовой отраслью для развития практически всех других отраслей народного хозяйства. Она способна нивелировать существующие диспропорции в социально-экономическом развитии регионов.

Эффективное развитие промышленности стройматериалов дает мультипликативный эффект в экономике, способствует повышению качества жизни в регионах за счет своевременного и качественного выполнения строительно-монтажных работ, ввода в действие новых производственных мощностей и объектов в ходе реконструкции, технического перевооружения, нового строительства или расширения действующих предприятий.

В сфере производства строительных материалов особое место занимает керамические материалы, благодаря их уникальным свойствам как долговечность, химическая устойчивость, привлекательный внешний вид, доступность сырьевых материалов для их производства, лучшие теплоизоляционные свойства и т.п.

Ускорение научно-технического прогресса, связанное с бурным развитием информационных технологий, и острая необходимость перехода к новому технологическому укладу, основанному на энергоэффективности, ставят перед производствами керамических изделий ряд важных задач. Общие тенденции в развитии технологии керамики следующие:

Снижение энергозатрат при обжиге за счет сокращения цикла обжига и снижения температуры за счет модификации составов, совершенствования техники обжига (прежде всего для строительной, хозяйственно-бытовой керамики), применения новых физических принципов спекания (для технической керамики);

Снижение количества использованного сырья за счет модификации формы изделия (уменьшения массы и совершенствования конструкции) и использования композиционных материалов.

Для реализации этих глобальных задач в Республике Казахстан принята Государственная программа жилищно-коммунального развития "Нұрлы жер" на 2020 - 2025 годы.

Данная единая жилищная политика и политика в жилищно-коммунальной сфере обеспечат комплексный подход к развитию комфортной жилой среды населенных пунктов с учетом трендов урбанизации, роста численности населения, а также особенностей каждого региона.

Основные меры государственной поддержки в жилищном строительстве направлены на стимулирование строительства доступного жилья широким слоям населения за счет обустройства районов массовой

застройки инженерными коммуникациями и благоустройство городских территории с использованием эффективных и экологичных строительных материалов для комфортного проживания населения.

Одним из перспективных направлений является производство керамической брусчатки методом вибропрессования. Данный метод обеспечивает высокую плотность, точную геометрию изделий и сокращение сроков технологического цикла. Совмещение современных технологических подходов с использованием природных и техногенных ресурсов позволяет не только повысить качество продукции, но и решить задачи экологической безопасности и ресурсосбережения.

Цель настоящей монографии — исследование и разработка технологии производства керамической брусчатки методом вибропрессования на основе природных и техногенных сырьевых ресурсов Казахстана. В работе рассматриваются вопросы выбора сырьевых компонентов, их подготовка и оптимизация состава, особенности технологического процесса и оценка физико-механических свойств готовых изделий.

Практическая значимость исследования заключается в создании предпосылок для внедрения новых технологий производства строительных материалов в Казахстане, что будет способствовать развитию строительной индустрии, повышению качества благоустройства городов и населённых пунктов, а также рациональному использованию природных и техногенных ресурсов страны.

1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1.1 Основные тенденции развития производства керамических материалов

Одной из задач современного материаловедения является создание эффективных ресурсо- и энергосберегающих технологий производства керамических материалов с заданными свойствами.

В последние 50 лет востребован материал с высокой термо- и химической стойкостью, постоянными электрофизическими и высокими теплоизоляционными свойствами.

В связи с этим все большее внимание уделяется глинам в качестве основы для кремнеземистой керамики и композитных материалов.

Кремнеземистая керамика, в принципе, может эксплуатироваться в качестве функциональной керамики в виде втулок, вкладышей, подложек в нагревательных устройствах, печах в широком интервале температур, вплоть до 700 °С.

Малая теплопроводность при низкой пористости и минимальной герметизации поверхности путем самоглазурования позволяет использовать ее в качестве отражателей для теплоизлучателей.

Однако широкому применению кремнеземистой керамики мешает низкая прочность. Необходима разработка новых технологий и, в первую очередь, оптимизация составов керамических масс и процессов их термообработки с целью использования природного дешевого и доступного сырья.

Известно, что керамическим строительным материалам свойствен ряд ценных технических качеств – долговечность, химическая и огневая стойкость, прочность, экологичность и пожаробезопасность.

В этой связи легкие и ячеистые композиты на керамических матрицах могут рассматриваться как перспективные материалы, имеющие значительный потенциал улучшения теплофизических, прочностных и других важных показателей.

Для обеспечения растущих потребностей строительной отрасли существует острая необходимость увеличения выпуска строительных материалов уже имеющейся номенклатуры, а также формирования научно-технологического задела, направленного на создание перспективных технологий получения более доступных по стоимости материалов, соответствующих передовым требованиям по теплозащитным показателям [1, 2, 3, 4].

Керамические строительные материалы имеют огромный потенциал в повышении механических характеристик за счет направленного

изменения структуры керамического камня путем модификации ее протяженными углеродными наносистемами.

Углеродные нанотрубки рассматриваются как перспективный материал для создания различных композитов благодаря особенностям строения (соотношение длины к диаметру может достигать нескольких сотен), химической инертности и повышенным механическим характеристикам [5, 6].

Исследования влияния углеродных нанотрубок на структуру и свойства строительной керамики проводятся в Институте термоизоляции Вильнюсского технического университета им. Гедиминаса с 2011 г. и продолжаются в настоящее время совместно с кафедрой «Геотехника и строительные материалы» Ижевского государственного технического университета им. М.Т. Калашникова. Технология модификации строительной керамики защищена международным патентом [7].

Успешное развитие стройиндустрии неразрывно связано с производством эффективных стеновых керамических изделий. Важнейшими мероприятиями, повышающими эффективность стеновой керамики являются: снижение плотности и теплопроводности за счёт увеличения пористости черепка и пустотности изделий; повышение механических показателей; ускорение технологического процесса и снижение производственных затрат; улучшение качества внешнего вида; выпуск лицевого кирпича разнообразной цветовой гаммы и различной формы.

С учётом произошедших исторических изменений, новых технических требований к строительству, изменений архитектурных стилей, появились новые задачи, возникла необходимость расширения номенклатуры выпускаемых изделий. В условиях значительного увеличения объёмов индивидуального жилищного строительства при одновременном повышении требований к комфортности и качеству жилья возрастают требования и к «разнообразию» изделий, как по свойствам, так и по внешнему виду. Следует отметить, что промышленность стеновой керамики в силу многих причин пока не удовлетворяет запросы потребителей. В связи с этим можно отметить три основные тенденции в развитии стеновой керамики.

Во-первых, это производство изделий с хорошими теплотехническими свойствами, с пониженной средней плотностью и относительно невысокой прочностью для ограждающих конструкций в каркасном домостроении и для самонесущих стен при малоэтажном строительстве. Особенно это актуально в связи с требованиями СНиП 23-02-2004 «Тепловая защита зданий» к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций [8].

К примеру, стандарт Германии «Стеновой кирпич» предусматривает производство обыкновенных полнотелых и пустотелых кирпичей и камней

14 типов марок от М40 до М280 и плотностью 1200-2200 кг/м³; лёгких пустотелых кирпичей и камней 13 типоразмеров марок от М20 до М280 и плотностью от 600-1000 кг/м [9].

Керамические материалы с каждым годом завоевывает все более значительное место в архитектуре. Это объясняется, прежде всего значительной экономичностью и долговечностью керамических материалов. Например, кирпичная, неоштукатуренная стена стоит дешевле оштукатуренной уже потому, что она не требует ремонта в течение десятков и даже сотен лет.

В Средней Азии имеются здания, сложенные из обыкновенного обожженного кирпича, которые сохранились с XI и даже X в. [10].

Одним из главных тенденций развития керамической промышленности в настоящее время является необходимость снижения плотности и теплопроводности стеновых материалов обусловлена в первую очередь сокращением затрат на отопление зданий в процессе их эксплуатации, этот факт подчёркивается многими авторами [11, 12, 13].

В ближайшем перспективе вопрос ресурсосбережения в производстве строительной керамики должен решаться в комплексе рационального использования природных ресурсов, отходов промышленности и охраны окружающей среды.

В этом направлении одним из эффективных методов повышения качества готовых изделий является модифицирование керамической массы путем введения многофункциональных корректирующих добавок.

Для изготовления строительной керамики широкое применение находят широко распространенные легкоплавкие глины, суглинки и лессы, аргиллиты, алевролиты и легкоплавкие сланцы.

Применение этих видов сырья в производстве стеновой керамики стало возможным благодаря созданию многокомпонентных составов керамических масс, в частности за счет введения добавок, регулирующих свойства формовочных смесей и готовой продукции, а также изменения технологии подготовки сырья [14,15,16].

В работе [17,18] суглинки использовали в смеси с ваграночными шлаками. В результате, брак при сушке кирпича уменьшился на 50%, марка кирпича повысилась с 75 до 120. После обжига при температуре 1000⁰С снизилось содержание кварца и увеличилось количество волластонита и анортита.

Легкоплавкие глинистые сланцы применяли в смеси с отходами угледобычи или золы в количестве 5% [19].

Лессовидные суглинки использовали в смеси с различными добавками. Добавка смеси беложгущейся глины (10%) и осадка фильтпрессов сахарного производства (2-3%) способствовала повышению пластических свойств масс и обеспечила получение кирпича марок 100-125 с морозостойкостью более 15.

Введение 8-15% фосфорного шлака в качестве упрочняющейся добавки и 10% бентонитовой глины или 10%-ного раствора содощелочного сплава как пластификатора в массы из лесса сопровождается снижением температуры обжига и повышением прочности изделий с 10 до 15-27,5 МПа. Значительное увеличение прочности и снижение брака (до 2%) кирпича из масс на основе лессовидных суглинков достигается также за счет введения до 3% добавок глиноземистого шлака или фосфогипса [20].

Кроме того, улучшение прочностных показателей строительной керамики достигается за счет формирования непосредственно при обжиге минералов с частицами игольчато-волокнистого габитуса, армирующих керамическую матрицу (муллитоподобной фазы, анортита и волластонита), или путем введения уже ранее сформированных кристаллических фаз в виде диопсида и волластонита.

В решении этих вопросов актуальным является применение нетрадиционных местных пород в виде тальковых сланцев [21] и отходов производства в виде зол, шлаков и золошлаковых смесей [22, 23, 24].

Имеющийся небольшой практический опыт по использованию бентонитовых глин в производстве керамических материалов показал их перспективность. Авторы [25] для повышения прочности готовых изделий предлагают керамическую смесь, состоящую из монтмориллонитовой глины (55-65%) и шлака Шымкентского свинцового завода (35-45%). При этом зернистой частью является шлак, а в качестве связующего используется монтмориллонитовая глина.

1.2 Анализ факторов, формирующих структурообразования керамических масс использованием отходов промышленности в процессе формования, сушки и обжига

Из Монографии Монтаева С.А. Структурообразование керамических материалов начинается на стадии формования [26].

Принципиально существует три категории способов формования:

- а) Керамическая масса переводится в жидкое состояние и формуется литьем;
- б) Пластическое формование, при котором масса должна обладать значительной пластичностью и соответствующей консистенцией;
- в) Полусухим прессованием формируются керамические массы с низким содержанием воды.

Основным требованием для всех способов формования является однородность изделия, которая определяет поведение отформованных изделий при сушке, обжиге и физико-химические свойства конечного продукта.

При производстве строительной керамики способ литья неприемлем из-за трудоемкости и высокой продолжительности технологического цикла. В связи с изложенным, рассмотрим процессы структурообразования при пластическом и полусухом способе формования.

Структурообразование в системе глина-вода является базовым при формировании изделий пластическим способом. Согласно работам А.П.Ребиндера и др. [27, 28] дисперсии глин в воде образуют коагуляционные структуры. При этом частицы глины связаны вандерваальсовскими силами через прослойки среды.

Остаточные прослойки водной среды в контактах частиц определяют относительную подвижность или пластичность и ползучесть при малых напряжениях сдвига.

Вводя добавки различного рода электролитов, поверхностно-активных веществ и защитных коллоидов для изменения взаимодействия воды с глиной, можно управлять явлениями пептизации и коагуляционного сцепления и, следовательно структурно-механическими свойствами глинистых масс, облегчая это управление различными механическими воздействиями.

Процесс пластической обработки и формования керамических масс состоит в общем случае из разрушения начальной структуры посредством ее дробления и измельчения, составления шихты и ее увлажнения, смешивания, переминания, вакуумирования массы и завершается оформлением изделия.

Сущность этого процесса во многом зависит от количества затворяемой воды т.к. от содержания последнего зависит однородность в объеме и получения изделия определенного качества.

Недостаточное количество воды, значительное развитие молекулярных вандерваальсовских сил сцепления и преобладание адсорбционной воды затрудняют равномерное ее распределение и усреднение структурно-механических свойств во всем объеме системы.

Для равномерного распределения влаги и общей ее гомогенизации керамических масс требуется длительное перемешивание и переминания.

Поэтому исследования многих ученых [29, 30, 31] посвящены по определению основных параметров процесса обработки керамических масс - оптимальной влажности и величины допустимых ее колебаний.

Таким образом процесс структурообразования масс на стадии формования пластическим способом в системе глина-вода зависит от содержания затворяемой воды и механических способов их обработки. При этом процесс формовки осуществим только в случае когда основным компонентом керамических масс является глина.

Поэтому для решения задач комплексного использования минерального сырья и отходов промышленности в технологии керамики способ пластического формования недостаточно приемлемо.

С этой точки зрения один из прогрессивных методов формирования сырьевых смесей является способ полусухого прессования, которая характеризуется рядом преимуществ перед пластическим [32].

- использование непластичных компонентов
- строго соблюдение размеров изделия
- возможность автоматизации процесса прессования
- исключение длительной сушки.

Глина и вода, которые составляют основу пластической обработки, на стадии формирования полусухим способом могут служить только в качестве технологической связки пресспорошков.

Исследованиям процессов прессования керамических масс посвящены немногочисленные работы отечественных и зарубежных ученых [33,34].

Согласно этим исследованиям при полусухом прессовании керамических порошков процессы уплотнения частиц сопровождаются следующими изменениями качественных характеристик. В начале сжатия происходит перемещение частиц преимущественно в направлении действия прессующего усилия с образованием “мостиков” или “арок” на местах контакта, т.е. особенностью начальной стадии прессования является упорядочение расположения частиц с увеличением координационного числа каждой частицы .

Вторая стадия прессования происходит с разрушением арок или мостиков многообразным движением частиц и включает их раздвигание вклинивающими зернами, взаимное скольжение и различные повороты.

При этом достигается устойчивое положение структурных элементов и существенное возрастание плотности их укладки.

При достижении некоторой степени уплотнения дальнейшее сжатие порошка обуславливает уплотнение сжимаемой системы с существенной деформацией структурных элементов и носит необратимый или обратимый упругий характер.

Однородность структуры в теле прессовок достигается оптимизацией давления прессования, гранулометрического состава и влажности пресспорошков.

Однако разработка технологических параметров прессования масс требует индивидуального подхода к используемым сырьевым материалам.

Анализ научно-технической литературы показали, что состояния технологии вибропрессованных изделий в основном направлена на производство бетонов, которая в настоящее время получила широкое распространение. Практически доказано, что вибропрессованные изделия отличаются повышенной плотностью и прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью и долговечностью, меньшей усадкой.

В последнее время изделия из вибропрессованного бетона стали показателями современного уровня качества строительной продукции и

составляют конкуренцию изделиям из керамики, цементно-полимерных и других композиций, так как позволяют создавать строительные объекты, соответствующие современным технико-экономическим критериям.

Кроме того, распространение технологии вибропрессования обусловлено доступной и широкой сырьевой базой, наличием серийно выпускаемого автоматизированного оборудования, позволяющего осуществлять быструю переналадку при переходе на производство изделий другой номенклатуры, относительно невысокими капитальными затратами, практически неисчерпаемым спросом на долговечные, высококачественные изделия.

Вместе с тем, дальнейшее повышение качества вибропрессованной продукции и совершенствование технологии требуют углубленного изучения процессов вибропрессования с применением современного системного подхода.

Решение поставленных задач может быть осуществлено с помощью последовательного изучения процессов, определяющих влияние внутренних сил, их взаимосвязи с внешними силами, характеризующимися как величиной, так и соотношением вибрационных и прессующих воздействий [35, 36, 37, 38, 39].

Однако в настоящее время исследования по разработке технологии производства керамических брусчаток методом вибропрессования весьма ограничены.

В технологии керамических материалов с окончанием формовки завершается существенный производственный этап. Однако изделия в этом состоянии не обладают еще теми свойствами, которые необходимы при их использовании. Для достижения необходимой стойкости и прочности отформованные изделия сушатся и обжигаются [40].

Доминирующее влияние на сушку отформованных изделий оказывает влагосодержание. Чем больше формовочная влажность, тем дольше продолжительность сушки.

В технологии стеновой керамики на основе глин процесс сушки является весьма ответственным этапом, т.к. от этого зависит качество полуфабриката. Неправильно подобранный режим сушки приведет к появлению трещин в отформованных изделиях, что отражается на поведении структурообразования при последующем обжиге изделий.

По этому исследованию процессов сушки керамических масс на основе различных глин направлены работы многих ученых. П.А. Ребиндер создал науку о формах связи влаги с материалом в технологии сушки. Она основана на энергетическом принципе связи влаги с поверхностью твердого тела. Мерой энергии связи является впервые введенный М.Поляни адсорбционный потенциал. Л.М. Никитина показала, что в гигроскопической области адсорбционный потенциал по абсолютной величине равен химическому потенциалу [41], который является

потенциалом переноса не только адсорбционно-, но и осмотически- и капиллярно-связанной влаги.

Для всей области сушки материала, включая влажное и гигроскопическое состояние тела, введен единый потенциал переноса влаги, определяемый экспериментально, который А.В.Лыков [42] назвал потенциалом масса - переноса или влагопереноса, а В.Н. Богославский - потенциалом влажности.

Значительные исследования в области влажностного состояния капиллярно-пористых материалов проведены Л.Б. Цимнерманисом [43], предлагающим ввести термин “потенциал оводнения” как единый энергетический потенциал переноса. Предложенный Л.Б.Цимнерманисом энергетический потенциал переноса является существенным вкладом в дальнейшее развитие теории влажностного состояния тела.

Удаление влаги из сырья в процессе сушки сопровождается уменьшением его размеров, называемый воздушной усадкой. Многочисленные работы [44, 45], посвященные вопросу изучения усадочных свойств капиллярно-пористых тел и, в частности керамических масс, во многом не раскрыли физической сущности этого явления. Одни авторы считают, что усадка происходит за счет капиллярных сил, вызванных удалением влаги макро- и микрокапилляров. Другие [46] придерживаются коллоидной теории, по которой усадка происходит вследствие высыхания студенистой массы.

Сложность процесса сушки керамических масс постоянно привлекало внимание исследователей, по оценке сушильных свойств.

Впервые коэффициент чувствительности к сушке K_r предложила З.А. Носова. Кроме того, А.С.Беркман и И.Г.Мельникова показали, что глина с $K_r > 0,5$ также высокочувствительна к сушке [47].

А.Ф. Чижский предложил другой способ определения коэффициента чувствительности [48], пригодный для высокочувствительных к сушке глин и не требующий применения объеммера.

Основным технологическим требованием производства стеновой керамики является недопущение образования трещин из-за неравномерной усадки по толщине изделия и перепада влажностей на внутренней и внешней поверхностях. Изучению механизма и условия возникновения трещин и способов борьбы с ними посвящено значительное число работ тем не менее острота проблемы сохраняется по сей день.

Теоретически и практически установлено, что сушка керамических изделий пластического формования отличается большой сложностью и связан с значительными затратами энергоносителей (газ, уголь, мазут).

Из дисс. Анисина Инга Поэтому в условиях энергетического кризиса особую актуальность приобретает синтез составов малочувствительных к сушке керамических масс и разработка интенсивных режимов сушки

изделий, позволяющие сократить длительность сушки и снизить затраты на энергоносителей.

Технология получения керамики из дисперсных систем представляет собой непрерывную цепь количественно-качественных изменений структуры и свойств исходного сырья, вызываемых комплексом физико-химических процессов [49, 50].

Все функциональные свойства изделий из керамики закладываются при формировании керамической массы и ее последующей термической обработки. В исходном состоянии керамическая масса представляет собой систему, далекую от состояния термодинамического равновесия по многим параметрам. Это связано с высокой удельной поверхностью частиц, наличием сильно развитой свободной поверхности дисперсных элементов, разветвленными сетками межкристаллитных границ, микрополостями внутри порошинок, дефектностью кристаллических решеток веществ [51].

Нагрев реализует сложный комплекс разнообразных протекающих одновременно или последовательно явлений. При температурном воздействии происходит изменение размеров, структуры и свойств исходных порошковых тел, протекают процессы поверхностной, граничной и объемной само- и гетеродиффузии, разнообразные дислокационные явления, осуществляются перенос вещества через газовую фазу, химические реакции, релаксации микро- и макронапряжений, рекристаллизация частиц [52].

Конечные свойства определяются доминирующими процессами при термообработке глин: дегидратация, выгорание органики, появление легкоплавких эвтектик, полиморфные и фазовые превращения.

Сложную структуру кремнеземистой керамики, формирующуюся при сушке и спекании необходимо рассматривать на разных уровнях ее организации, в соответствии с иерархией структурных уровней. Твердофазные частицы шихты формируют структуру на мезо- (размеры и форма частиц) и микроуровнях (структура самих частиц). Первостепенное значение при сушке и спекании имеют процессы, связанные с содержанием и удалением воды в монтмориллонитовой глине.

Влагу в керамических массах по форме связи с минеральными частицами делят на химическую, физико-химическую (связанную и диффузионную) и механическую (свободную) [53, 54, 55].

Химическая влага входит в состав кристаллической решетки монтмориллонита и удаляется во время обжига при температурах выше 550 - 800 °С. При этом образуется новая структура, в которую может входить вода.

Консолидация частиц и образование равновесной макрооднородной гетерогенной структуры возможно только благодаря спеканию.

Спекание – это самопроизвольное уплотнение пористого тела, обусловленное тенденцией к уменьшению свободной поверхностной энергии за счет сокращения или практической ликвидации пор путем их заполнения или вытеснения на поверхность [56, 57, 58].

Различают два основных механизма спекания: твердофазное и жидкофазное. Твердофазное спекание - спекание порошкового тела без образования жидкой фазы. Я.Е. Гегузин [59] разделил процесс спекания на три периода. На начальной стадии, припекании, частицы, составляющие систему, сохраняют свою индивидуальность. Суммарная поверхность контактов мала, а поры являются непрерывной фазой. На промежуточной стадии образуется две непрерывные фазы: “фаза вещества” и “фаза пустоты”. Образующиеся границы между элементами структуры спекающегося твердого тела уже не связаны с первоначальными границами частиц. Происходит рост зерен. Третья стадия характеризуется наличием разобщенных, изолированных пор, включенных в непрерывную твердую фазу; уплотнение материала на этой стадии происходит за счет уменьшения числа пор и их размеров [60, 61].

При более детальном анализе процессов, сопровождающих нагрев порошковых тел, выделяют шесть стадий: 1) развитие и возникновение связей между частицами; 2) образование и рост «шеек» межчастичных контактов; 3) закрытие сквозной пористости в порошковом теле; 4) сфероидизация пор; 5) уплотнение порошкового тела за счет усадки изолированных пор; 6) укрупнение (коалесценция).

Развитие связей между частицами начинается с нагревом порошкового тела.

Это диффузионный процесс, приводящий к образованию и развитию межчастичных границ и «шеек». Рост «шеек» характеризует начальный этап спекания. Закрытие сквозной пористости (поровых каналов) является результатом роста «шеек» и приводит к появлению изолированных групп пор или отдельных пор. При этом общий объем пор в порошковом теле уменьшается и происходит его уплотнение (усадка). С ростом «шеек» связана и сфероидизация пор, когда вещество с некоторых участков поверхности пор перемещается в область межчастичного контакта, а сами поры округляются.

Спекание с участием жидкой фазы - самый распространенный случай спе-

кания керамики. Рассматривают два случая жидкостного спекания: в отсутствии взаимодействия твердой фазы с жидкой и при взаимодействии твердой фазы с жидкой.

Спекание многофазовой керамической массы, содержащей стеклофазу, может сопровождается заполнением пор между зернами кристаллической фазы без их взаимодействия с жидкой стекловидной фазой.

Процесс жидкостного спекания протекает в три стадии. На первой стадии при некоторой умеренной температуре образуется жидкая фаза. Под влиянием сил поверхностного натяжения частицы сближаются и вся система уплотняется.

Если объем жидкой фазы превышает объем пустот, то жидкость может заполнить эти пустоты и дальнейшего уплотнения не произойдет [62].

Если жидкой фазы недостаточно или она не смачивает твердую фазу, то возможно частичное твердофазовое спекание. На второй стадии при повышении температуры идет основной процесс растворения твердой фазы и по мере насыщения расплава продолжается кристаллизация из расплава этой же кристаллической фазы.

В первую очередь растворяются более мелкие частицы, и выпадающие кристаллы переосаждаются на более крупные. Протекает процесс перекристаллизации через жидкую фазу, состав которой обогащается растворяемым веществом. Растворяются зоны контактов зерен, центры их сближаются, в результате чего происходят усадка и уплотнение спекаемого тела. На третьей стадии завершается перекристаллизация и образуется жесткий кристаллический каркас. Этому процессу способствует хорошее смачивание жидкой фазы, её способность проникать во все поры.

Процесс спекания относится к важнейшему процессу, протекающему при изготовлении различных силикатных и других тугоплавких материалов и определяющему в значительной степени свойства получаемых продуктов. С увеличением степени спекания изделий возрастают их плотность, прочность, твердость, химическая стойкость и др.

1.3 Перспектива использования модифицированных керамических масс для производства керамической брусчатки

Керамический продукт, который мало изучен и используется керамическая брусчатка, поскольку им нужна температура обжига, достаточно высокая, чтобы сделать ее неконкурентоспособной. В качестве материалов для дорожных покрытий преобладают системы мощения, в которых используются как битумные, так и бетонные смеси, поскольку они считаются наиболее экономически выгодными. В начале 1990-х автор работы [63] утверждал, что портландцементные бетонные и битумные системы мощения вытеснили системы, сделанные из глины, поскольку глиняная брусчатка дороже, чем наиболее распространенные альтернативы, однако, по мнению автора, эстетический эффект привлекателен, а цвет равномерно распределяется по всему изделию, не

подвержено влиянию ультрафиолетового света, яркости и нежелательному отражению света.

В нескольких исследованиях сравниваются экологические аспекты различных типов дорожных покрытий, для которых наиболее изучено их влияние на температуру окружающей среды. В этом аспекте, по сравнению с бетонной брусчаткой, глиняные покрытия способствуют более низкой температуре поверхности [64].

Керамическая брусчатка имеет много общего с глиняным кирпичом, самая большая разница заключается в более высоких свойствах, которыми должна обладать брусчатка, поэтому ее обжигают при более высоких температурах. В корреляции и на основании исследования [65] глиняный кирпич более выгоден в оценке жизненного цикла по сравнению с бетонным кирпичом.

Блокированные тротуары можно классифицировать в соответствии с типом материала, который может представлять собой монолитные бетонные блокирующие блоки мощения [66] или когда они изготовлены из глины, сланца или подобных природных земляных веществ и подвергаются обжигу, что приводит к названный кирпич для мощения, который можно использовать для пешеходов и легкого транспорта [67] или интенсивного движения транспортных средств [68].

Несколько публикаций в литературе посвящены керамической брусчатке на основе глины.

Брусчатка — это материалы, которые обеспечивают износостойкость поверхности автомагистралей, а также улиц, тротуаров, пешеходных дорожек, внутренних дворики и других аналогичных объектов [69].

Они просты в установке и ремонте и позволяют поверхностным водам просачиваться через стыки между блоками, что позволяет воде фильтроваться и просачиваться в нижележащий грунт, чтобы уменьшить воздействие затопления.

Глины и сланцы — самые распространенные осадочные породы на континентах на их долю приходится около 42 % по объему [70].

Легкодоступность его использования в традиционных керамических материалах, таких как кирпичи, черепица, фарфор, делают глины широко используемыми в качестве сырья.

Что касается процессов производства глиняной брусчатки, то они представляют собой производственный процесс, аналогичный глиняным кирпичам, который, согласно [71], производился одним и тем же способом на протяжении десятилетий, что делает его устаревшим и неконкурентоспособным по сравнению с другими продуктами, такими как бетон. По словам Филиппа [72], при производстве конструкционной керамики недорого как обработка, так и сырье. Однако стоимость брусчатки, содержащей глину, невыгодна по сравнению с другими альтернативами из-за более высоких температур обжига для придания

этому изделию необходимых свойств, более высоких по сравнению со структурной керамикой.

Другим сырьем, также широко распространенным на континентах, является кремнезем, основной компонент большинства стекол [73] что объясняет широкое использование стекла, помимо его интересных свойств, обеспечивающих множество применений.

Теоретически отходы стекла могут быть полностью переработаны в новый стеклянный продукт, тем не менее, незначительные примеси определенного состава или цвета не очень хорошо переносятся в процессе производства стекла, что приводит к удорожанию переработки, что приводит к снижению стоимости лома. Для переработки стекла необходимо измельчение, а мелкие частицы, такие как стеклянная мелочь, трудно сортировать [74].

По вопросу о химическом составе натрий-известково-силикатного стекла [75] проанализировали литературу и обнаружили, что их состав аналогичен в исследованиях, проведенных в самых разных регионах мира [76] представили обзор литературы о потенциальном использовании отходов стекла в качестве сырья с акцентом на керамические изделия для гражданского строительства, такие как кирпичи, предполагая скрытую возможность использования отходов стекла в качестве частичной или полной замены обычного сырья.

При традиционной обработке керамики во время стадии обжига, в зависимости от того, насколько высока температура, отходы стекла образуют вязкую или жидкую фазу, отдавая предпочтение аморфной фазе конечного продукта, в зависимости от того, насколько ниже температура.

Кристаллизация в рецептурах с отработанным стеклом происходит удовлетворительно при понижении температуры при термообработке стеклокерамического процесса, достигая превосходных свойств, как продемонстрировано в работе [77].

Отходы стекла в рецептуре керамической брусчатки приводят к низкому уровню кристаллических фаз, что компенсируется увеличением уплотнения во время спекания с точки зрения свойств продукта.

Следующая работа [78] направлена на оценку использования отходов стекла для производства тротуарной плитки с глиной. Для этого представлено производство керамической брусчатки с использованием отходов стекла путем его измельчения, смешивания с глинами, формовки прессованием и спекания в печи. Таким образом, предлагая отходы стекла в качестве действенной альтернативы переработке и действуя в качестве флюса для снижения температуры обжига керамики, делая ее производство конкурентоспособным с точки зрения затрат, предоставляя хорошую альтернативу другим существующим брусчаткам и будучи экологически безопасным в отношении использования отходов стекла. .

Выводы по главе 1

1. Установлено, что основные тенденции развития производства керамических материалов направлено на выпуск конкурентоспособных изделий отвечающим требованиям ресурсо - и энергосбережения, создания новых материалов с высокими эксплуатационными свойствами. При этом отмечается, что керамическая технология позволяет создавать эффективные теплоизоляционные материалы, новые композиционные материалы, удовлетворяющие новые жесткие требования не только строительной отрасли так и машиностроительной, химической отраслей и объектов теплоснабжения и.т.п. В настоящее время керамические материалы являются самыми востребованными материалами на рынке строительной продукции.

2. Общеизвестно, что процессы первичное структурообразования керамических масс происходят на стадии формования. В настоящее время процесс формования керамических материалы основано на способы пластического формования и полусухого прессования которые отличаются громоздкостью технологического оборудования и не отвечает требованиям мобильности.

3. Установлено, что последнее время изделия из вибропрессованного бетона стали показателями современного уровня качества строительной продукции и составляют конкуренцию изделиям из керамики, цементно-полимерных и других композиций, так как позволяют создавать строительные объекты, соответствующие современным технико-экономическим критериям. При этом практически доказано, что вибропрессованные изделия отличаются повышенной плотностью и прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью и долговечностью, меньшей усадкой.

3. Перспективность технологии вибропрессования обусловлено доступной и широкой сырьевой базой, наличием серийно выпускаемого автоматизированного оборудования, позволяющего осуществлять быструю переналадку при переходе на производство изделий другой номенклатуры, относительно невысокими капитальными затратами, практически неисчерпаемым спросом на долговечные, высококачественные изделия.

Вместе с тем, дальнейшее повышение качества вибропрессованной продукции и совершенствование технологии требуют углубленного изучения процессов вибропрессования с применением современного системного подхода.

4. В результате глубокого литературного анализ установлено, что в настоящее время исследования отечественных ученых по разработке технологии производства керамических брусчаток методом вибропрессования весьма ограничены.

5. Вместе с тем установлено, что в развитых странах мира керамические брусчатки - это материалы, которые обеспечивают износостойкость поверхности автомагистралей, а также улиц, тротуаров, пешеходных дорожек, внутренних двориков и других аналогичных объектов. Отмечается, что они просты в установке и ремонте и позволяют поверхностным водам просачиваться через стыки между блоками, что позволяет воде фильтроваться и просачиваться в нижележащий грунт, чтобы уменьшить отрицательное воздействие воды.

6. Зарубежные ученые в своих исследованиях оценили экологические аспекты различных типов дорожных покрытий, для которых наиболее изучено их влияние на температуру окружающей среды. В этом аспекте, по сравнению с бетонной брусчаткой, керамические брусчатки способствуют более низкой температуре поверхности, что снижает «островное тепло» городских территории.

2. МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ. ВЫБОР ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Исследование основных физико-химических и технологических свойств глинистого сырья

2.1.1 Общие сведения о сырьевых материалах. Макроскопическая характеристика глинистых сырьевых материалов

В качестве сырьевых материалов для проведения исследований были выбраны суглинок и бентонитовая глина месторождения Туркестанской области.

В исходном состоянии суглинок имеет светлокориичневый цвет и характеризуется неориентированной текстурой и алевритовой структурой. В породе встречаются карбонатные включения серого и белого цветов размером до 3–5 мм и единичные каменистые включения черного цвета ~ 1...3 мм. Качественная реакция на карбонаты кальция показала, что основная масса сырья дает очень бурное вскипание при воздействии на нее 10%-ного раствора HCl. Из выше сказанного следует, что в породе присутствуют карбонаты кальция как в виде крупных (до 3 – 5 мм) включений, так и в очень тонком состоянии (пелитаморфные карбонаты). Бентонитовая глина имеет серо-зеленый цвет с примесью желтого, рыжего и коричневого цветов и характеризовалась наличием 2-х типов текстуры: ориентированной и спутанной с крупнодисперсной структурой. В породе встречались: слюда в виде крупных конгломератов и отдельных частиц размером до 10 мм.



Рисунок -1 Внешний вид исследуемых сырьевых материалов
а – суглинок, б – бентонитовая глина

2.1.2 Химический состав глин

Химический анализ усредненных проб выполнен в химической лаборатории Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова.

Результаты химического анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 Химический состав исследуемых глин

Сырье	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	п.п.п.
Суглинок (на сухое вещество)	53,0	11,0	4,2	0,68	10,8	2,72	1,36	3,48	0,23	12,0
Суглинок (на прокаленное вещество)	60,59	12,58	4,8	0,78	12,35	3,11	1,55	3,98	0,26	-
Бентонит (на сухое вещество)	54,2	14,5	8,0	0,9	2,62	2,16	0,86	3,28	1,31	9,4
Бентонит (на прокаленное вещество)	60,14	16,09	8,88	1,0	2,91	2,4	0,95	3,64	4,01	-

Химический анализ показывает, что для обеих проб содержание основных породообразующих оксидов SiO₂ и Al₂O₃ позволяет предположить наличие в них небольшого количества глинистого вещества. Высокое содержание Fe₂O₃ будет сообщать продуктам обжига глинистых пород терракотовый цвет.

В породах повышено содержание MgO, а также Na₂O и K₂O, что, в первом случае, указывает на присутствие в них доломита, а во втором – полевошпатовых песков, водорастворимых солей, а также глинистых минералов гидрослюдистой и монтмориллонитовой групп. Отличительной особенностью пород является содержание CaO и серы. В пробе «суглинок» значительно повышено содержание CaO, что указывает на высокое содержание карбонатов кальция, а также, из этого следует, что порода будет хорошо спекаться.

2.1.3 Определение минерального состава глин

При установлении минерального состава пород использовался комплексный метод, включающий рентгенофазовый и термический анализы сырья.

2.1.3.1 Рентгенофазовый анализ глин

Рентгенофазовый анализ (далее РФА) позволил идентифицировать кристаллические фазы, представляющие глинистую и неглинистую части исследуемых пород.

По данным рентгенофазового анализа глинистая часть пробы «суглинок» является мономинеральной, состоящая из каолинита, а проба «бентонит» представлена в основном монтмориллонитом и каолинитом.

В меньшем количестве в этой пробе присутствует гидрослюда. В неглинистой части обеих проб идентифицированы свободный кварц, кальцит CaCO_3 , полевые шпаты (микроклин KAlSi_3O_8 , альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), слюда.

Отличительной особенностью неглинистой части проб является присутствие гипса $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ в пробе «суглинок», а в пробе «бентонит» – портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

По результатам рентгенофазового анализа расчетным способом были получены объемные доли породообразующих минералов и минеральных примесей. Результаты такого расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Минеральный состав проб по данным рентгенофазового анализа

Минерал	«Суглинок» V, %	«Бентонит» V, %
Глинистая часть		
Каолинит	7,7	7,5
Монтмориллонит	-	9,4
Гидрослюда	-	4,0
Неглинистая часть		
Кальцит	24,2	19,3
Кварц	22,8	33,0
Полевые шпаты	13,6	9,2
Гипс	8,3	-
Портландит	-	4,0
Слюда	23,4	13,5

2.1.3.2 Термический анализ глин

2.1.3.2 Дилатометрический анализ глин

Термический анализ проб, включавший дифференциально-термический и термогравиметрический анализы, выполнялся с помощью дериватографа STA 409 PC Luxx фирмы NETZSCH (Германия). Измерения выполнены при нагревании пробы до 1100 °С со скоростью 10 °С/мин с последующим охлаждением с такой же скоростью до температуры 30 °С.

При проведении термического анализа одновременно регистрировались: изменение температуры, изменение энтальпии (дифференциально-термическая кривая – ДТА), изменение массы пробы (термогравиметрическая кривая – ТГ), скорость изменения массы (дифференциально-термогравиметрическая кривая – ДТГ). На рис. 2 и 3 приведены термограммы, иллюстрирующие поведение проб при их нагревании. На термограмме (рис.2) первыми фиксируются эндотермические эффекты в диапазоне температур 350 - 555 °С, связанные с выделением конституционной воды и разрушением кристаллической решетки каолинита, а также, удалением воды из гипса, которое весьма вероятно, учитывая данные РФА. Затем, в температурном интервале 555 – 800 °С происходит ряд эндотермических эффектов, связанных с удалением конституционной воды слюдистых, глинистых минералов, а также эндотермический эффект кварцевого перехода β -кварца в α -кварц, который скрывается в более глубоком эндопике вышеуказанных минералов данного температурного интервала.

При этом кварц остается в породе после термообработки в непрореагировавшем свободном виде, на что указывает термоэффект при той же температуре, зафиксированный на участке охлаждения образца. Эндопик с максимумом при температуре 776,9 °С соответствует разложению доломита и кальцита, вероятно, находящихся в породе в значительном количестве (7,90 % потеря массы в диапазоне температур 690 - 950 °С). Свыше 950 °С наблюдается развитие экзоэффекта, связанного с образованием новых кристаллических веществ, а именно первичного муллита из продуктов разложения каолинита.

На термограмме (рис. 4) виден эндотермический эффект при низкой температуре (140,9 °С), связанный с удалением гигроскопической влаги, а также, межпакетной воды монтмориллонита и гидрослюды. Далее, начиная от температуры 200 °С, в породе происходит целый ряд фазовых превращений, о чем свидетельствуют кривые ДТГ и ДТА.

Все эти превращения описываются значительным эндоэффектом с максимумом при 756,8 °С. В температурный интервал проявления данного эндоэффекта укладываются температуры дегидратации глинистых минералов монтмориллонита, каолинита, гидрослюды.

Следует отметить, что на термограмме в диапазоне температур 400 - 650 °С происходит удаление гидроксильной воды из монтмориллонита и каолинита, выделение конституционной воды из гидрослюды, а также протекает кварцевый переход, температурный интервал которого находится при температуре 570 - 580 °С. Проявление этого пика на фоне общего эндоэффекта очень слабой интенсивности наблюдается на кривой dДТА, что косвенно свидетельствует о незначительном содержании кварца в породе либо о содержании его в очень тонкой фракции. При этом кварц остается в породе после термообработки в непрореагировавшем

свободном виде, на что указывает термоэффект при той же температуре, зафиксированный на участке охлаждения образца.

Также эндотермические эффекты в интервале температур 650 - 950 °С с максимумом при 800 и 916,6 °С соответствуют соответственно разрушению кристаллической решетки монтмориллонита и разложению доломита и кальцита, которые, вероятно, судя по потере массы 4,18 %, находятся в породе в повышенном количестве. В этом же интервале температур может происходить обратимый модификационный переход α-гематита в β-гематит (~ 680 °С), что также возможно, учитывая высокое содержание Fe₂O₃ в породе. Свыше 950 °С наблюдается развитие экзоэффекта, связанного с образованием новых кристаллических веществ.

Потери массы образца за весь период нагрева составили 17,97 %, что указывает на высокую степень спекания данной породы.

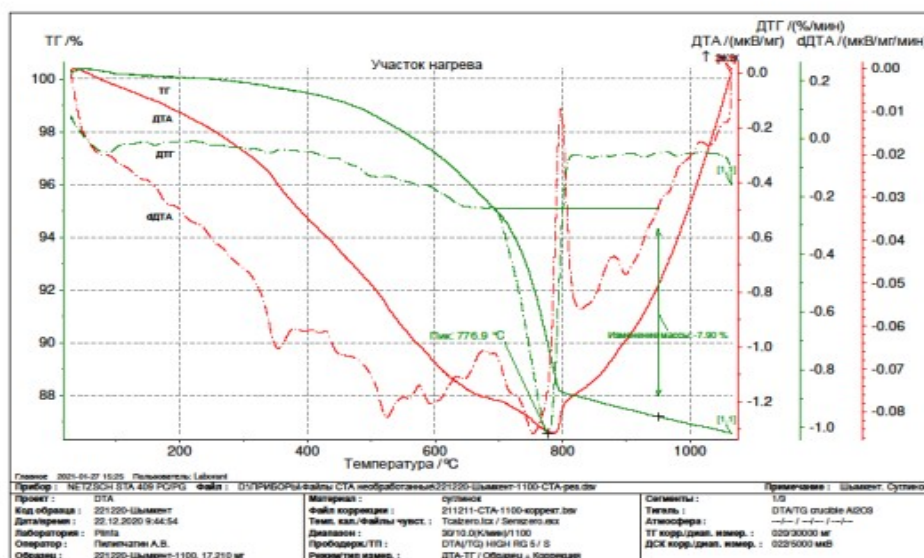


Рисунок 2 – Термограмма суглинка

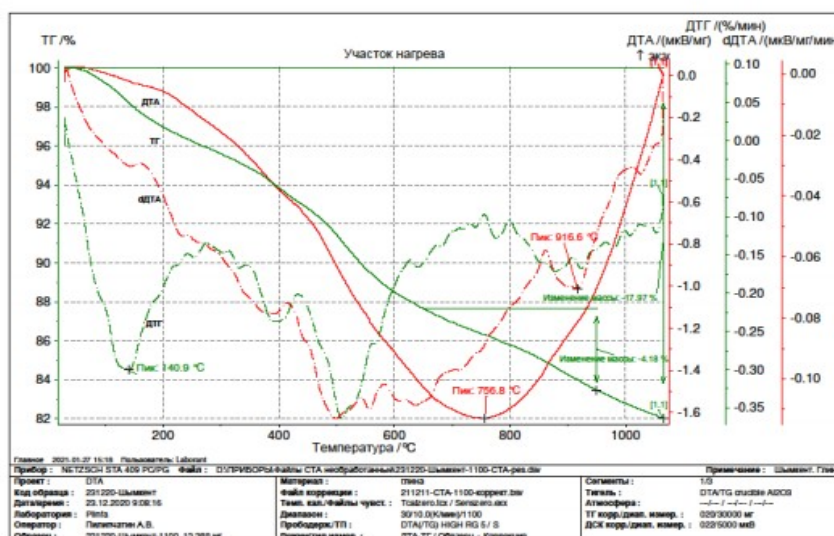


Рисунок 3 – Термограмма бентонита

2.2 Определение гранулометрического состава, крупнозернистых включений и запесоченность глин

Гранулометрический состав для обеих проб определялся согласно ДСТУ Б В.2.1-19:2009 (ГОСТ 12536) ареометрическим методом. Результаты определения гранулометрического состава предоставленных проб приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Гранулометрический состав исследуемых глин

Фракция, мм	< 0,005	0,005-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-2	2-5	> 5
Проба «суглинок»										
Содержание, %	17.79	16.68	61.71	2.9	0.68	0.13	0.05	0.05	0.02	0
Проба «бентонит»										
Содержание, %	36.06	25.13	31.14	4.06	0.41	0.64	1.02	1.0	0.55	1.0

Из данных таблице 3 видно, что пробы схожи между собой по значительному содержанию пылеватой фракций, при этом они отличаются глинистой составляющей и песчаной фракцией. В бентонитовой глине содержится в половину больше глинистых и меньше песчаных, чем в суглинке.

2.3 Определение пластичности глин

Пластичность определялась для обеих проб методом балансирного конуса по ГОСТ 21216-2014. Данные, характеризующие пластические свойства проб, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели пластичности исследуемых глин

Наименование сырья	Абсолютная влажность массы в состоянии граничных пределов, %		Число пластичности
	Нижняя граница текучести	Граница раскатывания	
Проба «суглинок»	23,85	19,22	4,63
Проба «бентонит»	61,06	40,02	21,04

В соответствии с классификацией по числу пластичности, принятой для глинистого сырья, суглинок относится к малопластичному сырью, а бентонитовая глина – к среднепластичному.

2.4 Определение чувствительности глин к сушке

Чувствительность глинистого сырья к сушке характеризует их способность без появления трещин выдерживать усадочные напряжения,

возникающие при сушке. В данном исследовании это свойство проб оценивалось по коэффициенту чувствительности к сушке, предложенным З. А. Носовой. Исследования проводили на полнотелых образцах размером $60 \times 30 \times 11$ мм и высушиваемых на воздухе до постоянной массы.

Воздушная усадка определялась для полнотелых образцов, полученных вручную пластическим способом формования при нормальной формовочной влажности. Свойства образцов, характеризующие процесс их сушки, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели сушки исследуемых глин

Наименование проб	Исходная влажность образцов, %	Чувствительность к сушке по З.А. Носовой	Относительная воздушная линейная усадка, %
Проба «суглинок»	15,94	0,33 (высокочувствительная)	2,63
Проба «бентонит»	28,9	1,61 (высокочувствительная)	10,91

Из данных таблице 5 видно, что в соответствии с классификацией глин по степени чувствительности к сушке обе пробы являются высокочувствительным. Однако, суглинок с учетом ее минерального состава в большей степени указывает на ее малочувствительность к сушке, несмотря на показатель $K_{\text{ч}}$ равный 0,33, формально относящий ее к высокочувствительному сырью.

Так, ее вероятная малая чувствительность к сушке объясняется характерным поведением для масс с преобладанием каолининовой составляющей в глинистой части, позволяющей противостоять внутренним напряжениям (без трещин и короблений), возникающих при сушке материалов в результате удаления усадочной влаги.

Что касается воздушной усадки, то проба «суглинок» характеризуется ее низким значением, а проба «бентонит» – высоким, что согласуется с данными их гранулометрического состава.

3. СОСТАВ, СВОЙСТВА И СТРУКТУРА КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОЙ БРУСЧАТКИ МЕТОДОМ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ

3.1 Исследование дообжиговых свойств сырьевой композиции для производства керамических брусчаток методом вибропрессования в системе суглинок – бентонит

Для приготовления керамических масс сырьевые материалы сначала высушивались в сушильном шкафу при температуре 70-80 °С до остаточной влажности 5-7% и размалывались в лабораторной шаровой мельнице до полного прохождения через сито 1,0 мм. Полученные порошки дозировались, согласно, исследуемых составов и тщательно перемешивались в лабораторной мешалке до получения однородной смеси. После чего для каждого состава определялись оптимальные формовочные влажности. В каждый состав керамической массы добавлялась вода согласно формовочной влажности и снова перемешивались до получения однородной смеси. Увлажненную керамическую массу вылеживали в эксикаторе в течении 48 часов с целью полного насыщения смеси. После окончания срока вылеживания и керамических масс формовали образцы цилиндры с размерами 50х50 мм методом вибропрессования. Время виброривания принимали постоянным и составляло 3 сек. Отформованные образцы высушивали в сушильном шкафу при $t=70 - 80^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы. Высушенные образцы до обжига подвергались физико-механическим испытаниям. Результаты испытаний представлены в таблице 6 и на рисунках – 4-8.

Таблица 6 Изменения дообжиговых свойств керамических масс в зависимости от состава (время вибрирования 3 секунда)

№ состава	Содержание компонентов, %		Формовочная влажность, %	Коэффициент чувствительности к сушке	Средняя плотность, г/см ³	Сырцовая прочность, МПа	Воздушная усадка, %
	Суглинок	бентонит					
1	93,0	7,0	14,5	1,21	1,792	2,3	2,73
2	95,0	5,0	15,6	1,38	1,810	3,4	2,85
3	90,0	10,0	16,8	1,41	1,890	4,2	3,2
4	85,0	15,0	18,4	1,45	1,940	5,3	3,8

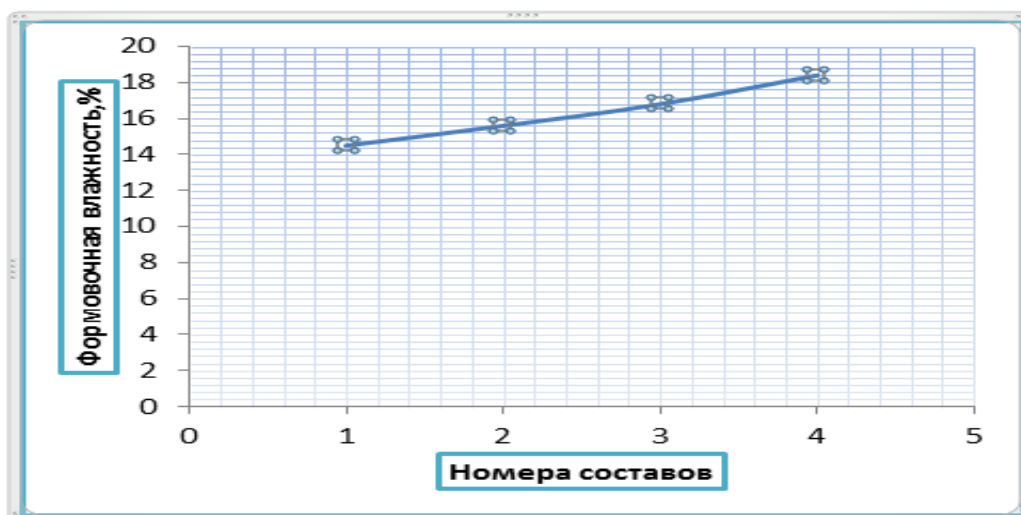


Рисунок 4 - Зависимость формовочной влажности от состава

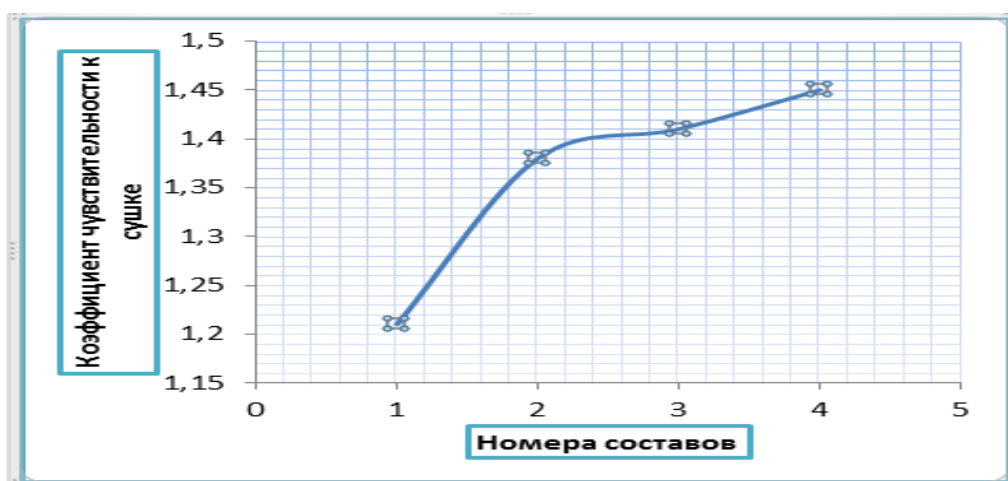


Рисунок 5 - Зависимость коэффициента чувствительности к сушке от состава

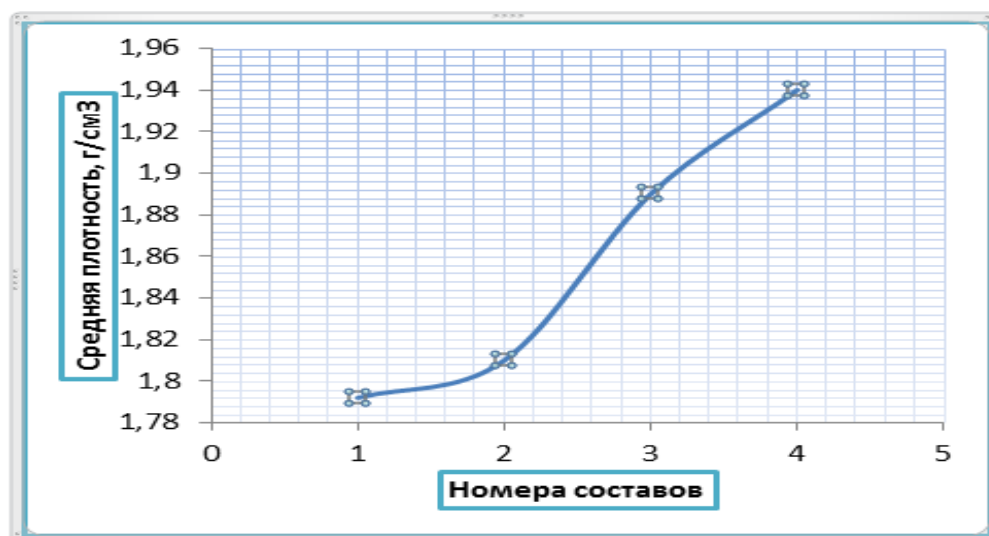


Рисунок 6 - Зависимость средней плотности от состава

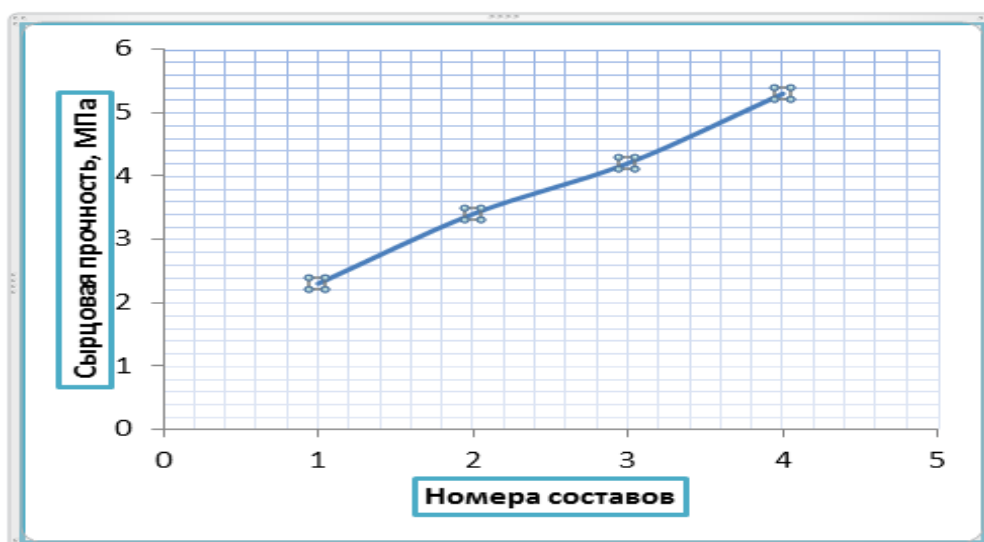


Рисунок 7 - Зависимость сырьевой прочности от состава

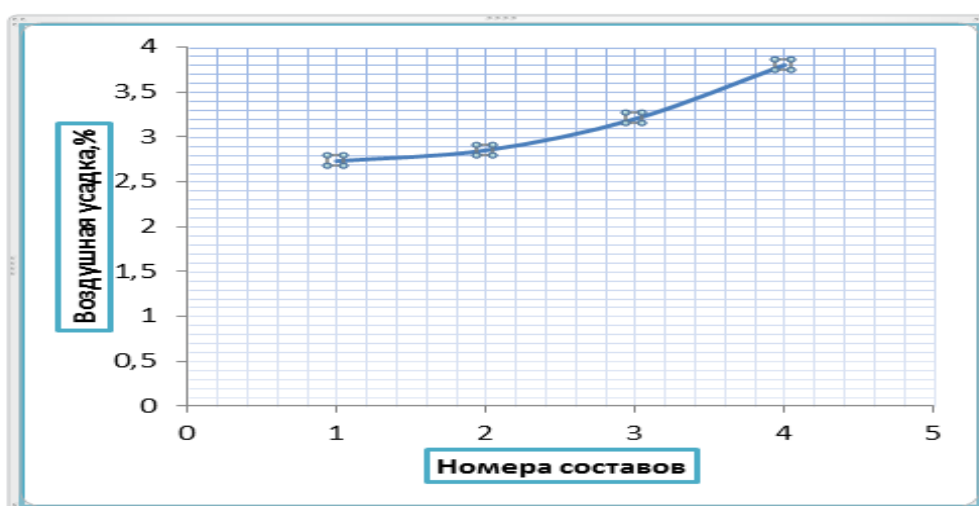


Рисунок 8 - Зависимость воздушной усадки от состава

Как показали результаты исследований, с повышением содержания бентонитовой глины несколько увеличивается формовочная влажность керамической массы. Повышение формовочной влажности составляет от 14,5 до 18,4%. Это связано вероятно с высокой водопотребностью бентонитовой глины. Как следствие повышается воздушная усадка и коэффициент чувствительности к сушке. При этом керамическая масса переводится от малочувствительной категорий до среднечувствительной. Увеличение воздушной усадки незначительный (от 2,73 до 3,8%) и вполне характерны для подобных керамических масс.

С увеличением содержание бентонитовой глины повышается показатели средней плотности (от 1,792 до 1,940 г/см³) и сырьевой прочности (от 2,3 до 5,3), что является положительным фактором для достижения конечных свойств керамической брусчатки.

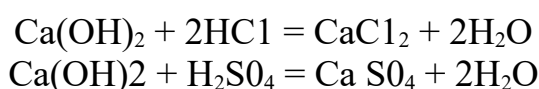
3.2 Исследование составов и физико-механических свойств сырьевой композиции для производства керамических брусчаток в системе суглинок – бентонит

Долгосрочные планы развития городов неразрывно связано с увеличением темпов строительства жилых комплексов, индивидуального жилья и других социально значимых объектов. В развитии городской территорий особую роль играет решение комплекса вопросов по их благоустройству для комфортабельного проживания населения. При этом одним из важных задач является благоустройство тротуаров, внутридворовых дорог и детских площадок, а также скверов, аллей и парковых зон, которые требуют большого количества широкого ассортимента дорожно-строительных материалов.

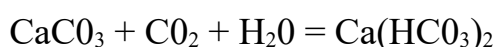
В настоящее время для решения этих задач широко используются бетонные брусчатки различной конфигурации и асфальтобетон. Однако, как показывает практика в процессе эксплуатации этих дорог часто наблюдается их разрушение.

Дело в том, бетонные брусчатки обязательно подвергаются действиям сульфатных солей кислот и щелочей, так как они обязательно присутствуют в составе грунтов укладываемой поверхности и дополнительно подвергаются действиям химических реагентов, поступающих от внешней среды (дожди, автомобильные масла, грунтовые воды и т.п.).

Интенсивное разрушение бетонных конструкций и изделий часто происходит вследствие коррозионного воздействия среды. Агрессивными по отношению к портландцементу являются морская и сточные воды, а также водные и воздушные среды, содержащие химически активные компоненты. Так, при действии растворов неорганических кислот происходит разрушение гидроксида кальция с образованием растворимых солей:



Под действием кислот могут растворяться гидросиликаты, гидроалюминаты и гидроферриты кальция, превращаясь в аморфные непрочные соединения. Наличие повышенного содержания угольной кислоты в воде способно также интенсифицировать коррозионное разрушение структуры бетона вследствие разрушения поверхностной защитной карбонатной пленки:



При выборе строительных материалов для устройства городских дорог и тротуаров очень важно учесть и экологический фактор,

закключающийся в смягчении эффекта «островного» тепла, выделяемого из поверхностей городских дорог и тротуаров.

Стремление к индивидуальности, комфорту, долговечности и простоте дорожных конструкций малой вместимости в настоящее время все чаще реализуется за счет использования керамических изделий. Дорожная керамическая брусчатка является аналогом керамического кирпича, отличающейся своим геометрическим размером, структурой черепка и некоторыми физико-химическими свойствами [79].

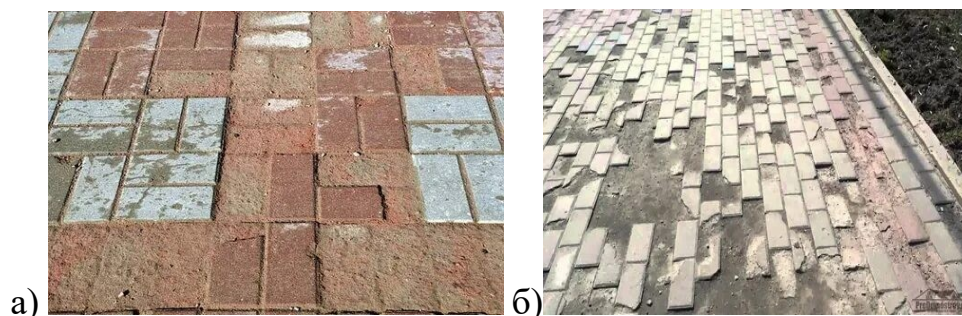


Рисунок 9 – Фрагменты разрушенных бетонных брусчаток в городской территории

а) полное разрушение; б) разрушение поверхности брусчаток

Увеличивающийся с каждым годом спрос на керамическую керамику в нашей стране в основном покрывается за счет поставок этой продукции из-за рубежа. Сложившаяся ситуация во многом связана с ограниченными запасами спекающихся глин, являющихся традиционной сырьевой базой для производства клинкерной продукции, а также с отсутствием производственных мощностей, способных производить керамику при повышенной температуре. Поэтому изыскание сырьевых материалов и разработка технологий производства клинкерной керамики низкотемпературного спекания – до 1100°C , с требуемыми эксплуатационными и эстетическими показателями является важной народнохозяйственной задачей для нашей страны в области импортозамещения и развития стройиндустрии [80].

Выбор температуры обжига зависит от минералогического состава сырья, его температуры плавления и интервала спекания, химического состава сырья, особенности печи, используемой для обжига образцов и продолжительностью выдержки при максимальной температуре обжига [81]. Влияние температуры обжига особенно проявляется во время обжига сырьевой смеси, содержащей большое количество различных добавок [82].

Основным сырьем при изготовлении разнообразных керамических изделий, являются повсеместно распространенные глинистые материалы [83-85].

Ученые [86] проводились исследования по синтезу керамической брусчатки из лессовой породы «Курбановское» и стеклобоя использовались отходы цветного тарного стекла, которые образовались в мусоросборных пунктах г. Ургенча, Узбекистан. В результате проведения эксперимента было установлено, что с увеличением степени спекания керамической брусчатки возрастают ее плотность, механическая прочность, твердость, химическая стойкость и сопротивляемость воздействиям различных агрессивных средств, уменьшается газо- и водопороницаемость.

Общеизвестно что, керамические материалы обладают высокой химической устойчивостью (98 - 99%) по отношению к растворам солей, кислот и щелочей. Благодаря этому свойству изделия не разрушаются под действием сульфатных солей, кислот и щелочей, а также имеют более эстетический вид.

Однако, использование низкосортных запесоченных лессовидных суглинков, распространенные в Казахстане повсеместно, не позволяют получить керамический материал с высокими физико-механическими свойствами, способными выдерживать длительную эксплуатацию на открытых пространствах.

Исследования авторов [87] были направлены на исследование структурных изменений в композиционных керамических массах с использованием бентонита. Результаты показали, что как природный пластификатор бентонит улучшает формовочные свойства смесей и увеличивает механическое сопротивление изменяя размер и сцепление образованных кристаллических фаз муллита.

В штате Баия, Бразилия [88] проведена работа по подготовке образцов обычной глины с заменой остатка обогащения бентонитом глиной в количестве 0,5 и 10% по массе для получения конструктивных керамических корпусов для применения в кирпичах, блоках и плитках.

Исследования по улучшению свойств суглинков месторождений Украины, Германии, Франции и Португалии (около 3×10^6 т год⁻¹) показали, что при добавлении 5-10% по массе от бентонитов месторождений Сардинии, Италии [89] и [90], обеспечивают высокую прочность. Реологические исследования проводились на суспензиях, приготовленных для проверки эффекта присутствия бентонита в зависимости сдвига и времени.

С целью разработки состава для получения керамической брусчатки были подготовлены четыре состава керамических масс на основе исследуемых глин. Керамические композиции подготавливались путем смешивания сухих порошков суглинка и бентонита в соотношениях, представленных в таблице 7.

Для приготовления керамических масс сырьевые материалы сначала высушивались в сушильном шкафу при температуре 70-80 °С до

остаточной влажности 5-7% и размалывались в лабораторной шаровой мельнице до полного прохождения через сито 1,0 мм.

Таблица 7 - Исследуемые составы керамических масс.

номер состава	массовая доля, %	
	суглинок	бентонит
I	95	5
II	93	7
III	90	10
IV	85	15

Полученные порошки дозировались, согласно, исследуемых составов и тщательно перемешивались в лабораторной мешалке до получения однородной смеси. После чего в сухую смесь добавлялась вода до 10-12% и снова перемешивались до получения гомогенной смеси. Увлажненную керамическую массу вылеживали в эксикаторе в течении 48 часов с целью полного насыщения смеси. После окончания срока вылеживания и керамических масс формовали образцы цилиндры с размерами 50х50 мм методом вибропрессования.

Отформованные образцы высушивали в сушильном шкафу при $t=70$ - 80°C до постоянной массы. Высушенные образцы обжигались в лабораторной электрической печи марки СНОЛ 58/350 при температуре 950°C . Скорость подъема температуры составляла $150^{\circ}\text{C}/\text{час}$. Обожжённые образцы охлаждались в отключенной печи до комнатной температуры.

После термообработанные образцы подвергались испытаниям с целью определения физико-механических свойств. В качестве исследуемых физико-механических свойств выбрали предел прочности при сжатии и изгибе, средняя плотность и водопоглощение. Результаты проведенных исследований приведены на рис.10,11.

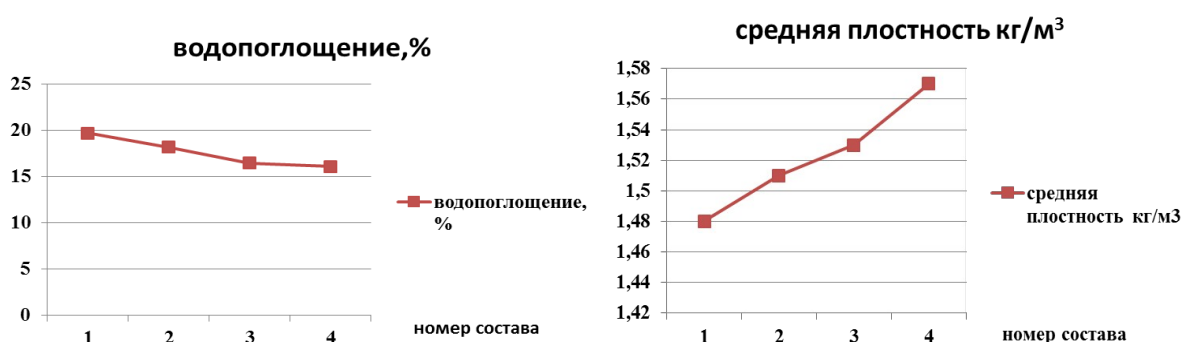


Рисунок 10 – Изменение физических свойств термообработанных образцов в зависимости от состава

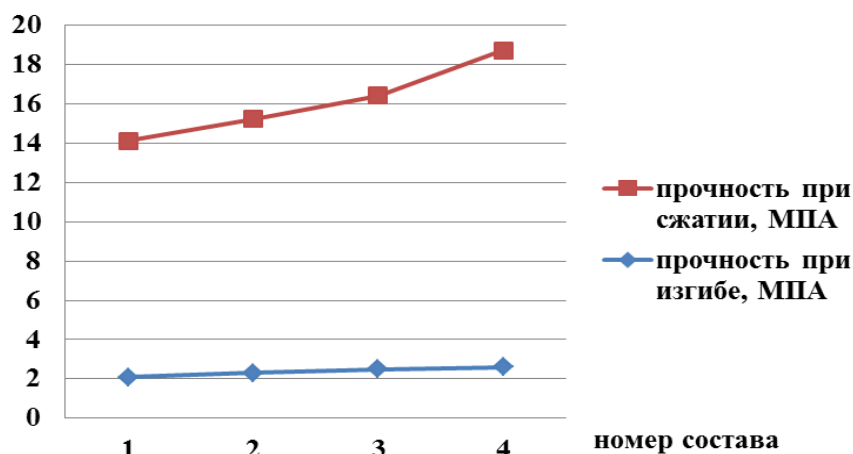


Рисунок 11 – Изменение механических свойств термообработанных образцов в зависимости от состава

Анализ полученных данных физико-механических характеристик показывает изменение параметров при увеличении в составе содержания бентонита. Средняя плотность увеличивается с $1,48 \text{ кг/м}^3$ до $1,58 \text{ кг/м}^3$. Такое увеличение происходит вследствие того, что частицы бентонита при увлажнении имеют способность раздвигать межзерновое пространство суглинка, заполняя все микро- и макропоры глинистой массы в целом. В результате достигается наибольшее уплотнение при вибропрессовании. Прочностные характеристики достигают максимального значения при сжатии 18,7 МПа и при изгибе 2,6 МПа при наибольшем количестве содержания бентонита 15%. Увеличение спекаемости глинистых составляющих также подтверждается показателями водопоглощения, снижение которого находится в пределах 19,7-16,1%.

Выводы по разделу 3.2

1. Установлено, что для получения керамической массы с хорошей спекаемостью необходимо использовать бентонит совместно с суглинком.
2. Исследованы составы керамических масс на основе суглинка с добавлением бентонита до 15% с целью получения керамической брусчатки методом вибропрессования.
3. По результатам исследования установлено, что образцы, полученные методом вибропрессования обладают требуемыми физико-механическими свойствами для получения керамической брусчатки.
4. Результаты исследования служат основой для создания технологии получения керамической брусчатки, отвечающие экологическим и эксплуатационным требованиям в целях использования их в благоустройстве городских территорий (тротуары, аллеи, парковые зоны, детские площадки и т.п.).

3.3 Влияние температуры обжига на изменения физико-механических свойств образцов исследуемых сырьевых композиции для производства керамических брусчаток методом вибропрессования в системе суглинок – бентонит

Для изучения основных закономерностей изменения физико-механических свойств выше температуры обжига 950 °С отформованные образцы обжигались в интервале температур 1000 - 1150 °С . Скорость подъема температуры и выдержка при конечной температуре принимались как при предыдущем разделе 3.2. Результаты проведенных исследований представлены в таблицах 8-11.

Таблица 8 - Физико-механические свойства керамических масс при Т = 1000 °С

№ Сос авов	Содержание компонентов, %		Средняя плотность, г/см ³	Прочность , МПа		Водопогла щение, %	Морозо стойкость, циклы
	сугли нок	бенто нит		при сжатии	при изгибе		
1	95	5	1,796	23,6	2,8	13,3	39
2	93	7	1,824	28,7	3,1	12,4	41
3	90	10	1,866	31,3	3,8	10,3	47
4	85	15	1,910	32,7	4,4	9,6	51

Таблица 9 - Физико-механические свойства керамических масс при Т=1050°

№ Сос тавов	Содержание компонентов, %		Средняя плот ность, г/см ³	Прочность , МПа		Водопоглащен ие, %	Морозостой кость, циклы
	сугли нок	бентон ит		при сжатии	при изгибе		
1	95	5	1,825	24,8	3,2	12,4	42
2	93	7	1,842	30,5	3,4	11,3	44
3	90	10	1,897	32,1	4,1	9,8	49
4	85	15	1,940	33.5	4,7	9,1	54

Таблица 10 Физико-механические свойства керамических масс при $T = 1100^{\circ}\text{C}$

№ Сос тавов	Содержание компонентов , %		Средняя плотность, г/см^3	Прочность , МПа		Водопоглащен ие, %	Морозостой кость, циклы
	сугли нок	бент онит		при сжатии	при изгибе		
1	95	5	1,843	26,4	3,6	11,5	43
2	93	7	1,850	31,6	3,8	10,3	46
3	90	10	1,910	35,7	4,5	8,8	51
4	85	15	1,960	35,4	4,9	8,3	57

Таблица 11 Физико-механические свойства керамических масс при $T = 1150^{\circ}\text{C}$

№ Сос тавов	Содержание компонентов, %		Средняя плот ность, г/см^3	Прочность , МПа		Водопогла щение, %	Морозостой кость, циклы
	Суг линок	Бенто нит		при сжатии	при изгибе		
1	95	5	1,860	28,5	4,1	10,4	48
2	93	7	1,870	32,4	4,3	9,6	51
3	90	10	1,980	36,2	4,8	8,2	55
4	85	15	2,150	38,6	5,3	7,5	60
Как показывает результаты исследования с увеличением температуры обжига от 1000°C до 1150°C наблюдается стабильное увеличение прочности при сжатии и изгибе во всех рассматриваемых составах керамических масс.							

Как показывает результаты исследования с увеличением температуры обжига от 1000°C до 1150°C наблюдается стабильное увеличение прочности при сжатии и изгибе во всех рассматриваемых составах керамических масс.

Так увеличение прочностных показателей состава № 1 в указанном интервале температур составляет от 23,6 МПа до 28,5 МПа при сжатии и от 2,8 МПа до 4,1 МПа. При этом следует отметить, что прочностные показатели значительно возрастает с увеличением содержание бентонитовой глины.

Например, при содержании бентонитовой глины 5,0% (состав № 1) при температуре обжига 1000°C прочность при сжатии составляет 23,6 МПа а при этой же температуре прочность при сжатии состава №4 с содержанием бентонитовой глины 15% составляет 38,6 МПа.

Аналогичная закономерность наблюдается и с изменениями средней плотности керамических образцов. Наибольшие значения средней плотности наблюдается при максимальной содержании бентонитовой глины. Так при температуре обжига 1150 °С средняя плотность состава № 4 с содержанием бентонитовой глины 15,0% составляет 2,150 г/см³.

Что касается изменения водопоглощения, то с увеличением температуры обжига наблюдается снижение показателей водопоглощения во всех исследуемых составах. При этом снижение наблюдается не только с увеличением температуры обжига но с увеличением содержания бентонитовой глины.

Самые низкие показатели водопоглощения наблюдается при температуре обжига 1150 °С с содержанием бентонитовой глины 15,0% и составляет 7,5%. Как следствие во всех исследуемых составах наблюдается повышение показателей морозостойкости до 60циклов.

Полученные закономерности изменения физико-механических свойств исследуемых керамических масс в зависимости от температуры обжига указывает на доминирующую роль бентонитовой глины.

Благодаря уникальным свойствам бентонитовой как высокая пластичность и связующая способность на стадии формования керамическая масса на основе суглинка приобретает новые качества.

При этом повышается средняя плотность и сырьевая прочность образцов. Бентонитовая глина относится к категории легкоплавких и спекающихся глин, что позволяет интенсифицировать процесс спекания керамического черепка на стадии обжига.

3.4 Исследования сырьевой смеси при использовании эффективных добавок обеспечивающие интенсификацию процессов спекания и кристаллизации (ИСК) керамических масс для производства керамических брусчаток методом вибропрессования.

3.4.1 Керамическая композиция для производства керамических брусчаток методом вибропрессования в системе суглинок-бентонит-гранулированный доменный шлак

Бурный рост строительства, который наблюдается в течении последних нескольких лет, вызвал необходимость увеличения производства керамических материалов в том числе керамических брусчаток. Однако строительная индустрия начала испытывать нехватку сырьевых материалов, особенно высококачественного глинистого сырья, которое является основным компонентом при производстве керамических строительных материалов. Почти во всех регионах Казахстана запасы качественных глин весьма ограничены. Поэтому для производства керамических материалов используется лессовидные суглинки, которые

отличаются низкой спекаемостью и наличием нежелательных примесей. В настоящее время одним из острых проблем производства керамических материалов являются большая ресурсо- и энергоемкость и низкие прочностные показатели готовых изделий. Из-за нестабильности химического состава суглинков при обжиге изделий не полностью протекают процессы минерало- и структурообразования даже при высоких температурах обжига ($T = 1000...1050^{\circ}\text{C}$).

В результате топливно-энергетические ресурсы тратятся на выпуск некачественных продуктов, а чтобы покрыть эти затраты промышленники вынуждены поднимать цены на готовую продукцию низкого качества.

В связи с изложенным следует искать другие пути решения проблемы - изыскания новых источников сырья способствующих созданию армированной каркасной структуры и повышению активности взаимодействия компонентов смеси при условии снижения температуры спекания.

В развитии городской территорий особую роль играет решение комплекс вопросов по их благоустройству для комфортабельного проживания населения. При этом одним из важных задач является благоустройство тротуаров, внутри дворовых дорог и детских площадок, а также скверов, аллей и парковых зон требуют большого количества широкого ассортимента дорожно-строительных материалов. В настоящее время для решения этих задач широко используется бетонные брусчатки различной конфигурации и асфальтобетон. Однако как показывает, практика в процессе эксплуатации этих дорог часто наблюдается их разрушение. (Рис.9)

Одним из путей решения этой проблемы является использование при производстве керамических материалов техногенных продуктов, особое место среди которых занимают доменные гранулированные шлаки. Благодаря высокой активности к кристаллизации и спекаемости в тонкодисперсном состоянии, шлак может заменить большую часть глинистого компонента и способствовать при обжиге получению высокопрочного, водостойкого, морозостойкого, стойкого к истиранию керамического черепка.

В экологически бедственных регионах, особенно с солончаковой почвой, применяемые материалы для мощения дорог, тротуаров, площадок и других объектов вследствие агрессивности окружающей среды быстро изнашиваются, в результате эти объекты быстро выходят из строя. В связи с этим актуальным является разработка технологии получения дорожной керамической брусчатки с высокими механическими показателями и химической стойкостью [91].

Дорожная керамическая брусчатка является аналогом керамического кирпича, отличающейся своим геометрическим размером, структурой черепка и некоторыми физико-химическими свойствами [92, 93].

Техногенное сырье является ценным компонентом при изготовлении различных строительных материалов. Использование шлаковых отходов металлургических производств решает актуальные экологические задачи сохранения природных ресурсов, рационального природопользования и оптимизации инженерных решений. Кроме того, межпроизводственная кооперация, ведущая к уменьшению отходов одних производств и увеличению качества продукции других, несомненно входит в концепцию устойчивого развития, стоящую на трех китах – экономическом развитии, социальной ответственности и ответственности за окружающую среду.

Отходы черной (доменные, сталеплавильные, ферросплавные, ваграночные) и цветной (медеплавильные, никелевые, алюминиевые) металлургии относят к металлургическим шлакам. На 1 т выплавленного металла образуется от 0,04 до 0,7 т шлака [94-96].

Несмотря на увеличение объемов применения вторичных материальных ресурсов в строительной керамике, доля использования металлургических шлаков остается недостаточной. Все вышеизложенное говорит о значительном резерве для ресурсосбережения.

Например применение шлаков черной металлургии в качестве отошителей и активаторов спекания повышает (при использовании в определенных количествах) эффективность технологии получения стеновой керамики, позволяет экономить природные минеральные и энергетические ресурсы и при этом выпускать высококачественные изделия [97].

Доменный шлак – неметаллический продукт, состоящий в основном из силикатов и алюминатов кальция, можно использовать вместо специально подготовленного шамота как с целью уменьшения усадки изделий, так и для изменения потребительских свойств строительной керамики.

Ранее описаны примеры использования шлаковых отходов в качестве отошителя и вяжущего компонента при изготовлении цементов и бетонов, стеновой керамики, в том числе лицевого керамического кирпича. Согласно литературным данным, высокая температура термической обработки шлака (до 1100°C) характеризуется интенсивным жидкофазным спеканием образца за счет увеличения количества образующегося расплава, а также его кристаллизации с образованием волластонит-диопсидового твердого раствора цепочечного строения, оказывающего армирующее действие на структуру керамического материала. Такое поведение шлака позволяет рассматривать его в качестве техногенного прекурсора для синтеза упрочняющих фаз при обжиге материалов [98–111].

Основным сырьем при изготовлении разнообразных керамических изделий, являются повсеместно распространенные глинистые материалы [112-114].

Учеными [115] проводились исследования по синтезу керамической брусчатки из лессовой породы «Курбановское» и стеклобоя использовались отходы цветного тарного стекла, которые образовались в мусоросборных пунктах г. Ургенча, Узбекистан. В результате проведения эксперимента было установлено, что с увеличением степени спекания керамической брусчатки возрастают ее плотность, механическая прочность, твердость, химическая стойкость и сопротивляемость воздействиям различных агрессивных средств, уменьшается газо- и водопроницаемость.

Общеизвестно что, керамические материалы обладают высокой химической устойчивостью (98 - 99%) по отношению к растворам солей, кислот и щелочей. Благодаря этому свойству изделия не разрушаются под действием сульфатных солей, кислот и щелочей, а также имеют более эстетический вид.

Однако, использование низкосортных запесоченных лессовидных суглинков, распространенные в Казахстане повсеместно, не позволяют получить керамический материал с высокими физико-механическими свойствами, способными выдерживать длительную эксплуатацию на открытых пространствах.

Исследования авторов [116] были направлены на исследование структурных изменений в композиционных керамических массах с использованием бентонита. Результаты показали, что как природный пластификатор бентонит улучшает формовочные свойства смесей и увеличивает механическое сопротивление изменяя размер и сцепление образованных кристаллических фаз муллита.

В штате Баия, Бразилия [117] проведена работа по подготовке образцов обычной глины с заменой остатка обогащения бентонитом глиной в количестве 0,5 и 10% по массе для получения конструктивных керамических корпусов для применения в кирпичах, блоках и плитках.

Исследования по улучшению свойств суглинков месторождений Украины, Германии, Франции и Португалии (около 3×10^6 т год⁻¹) показали, что при добавлении 5-10% по массе от бентонитов месторождений Сардинии, Италии [118,119] и обеспечивают высокую прочность. Реологические исследования проводились на суспензиях, приготовленных для проверки эффекта присутствия бентонита в зависимости сдвига и времени.

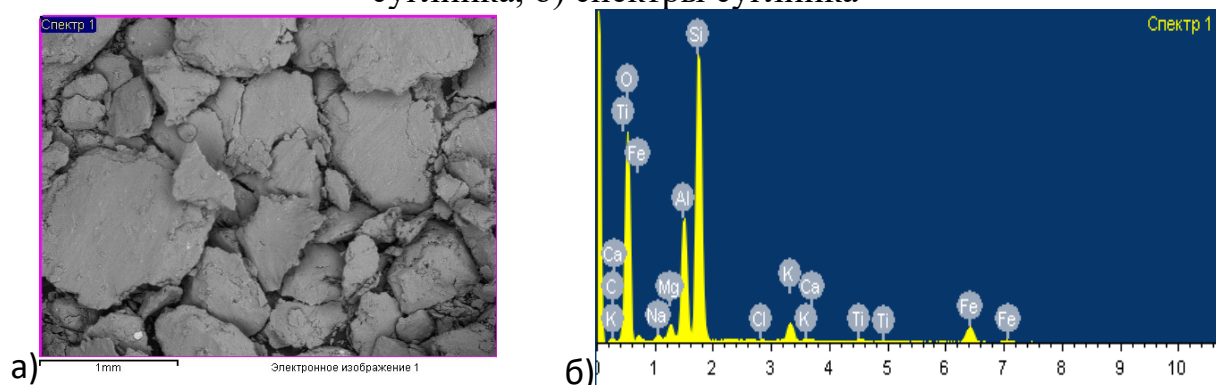
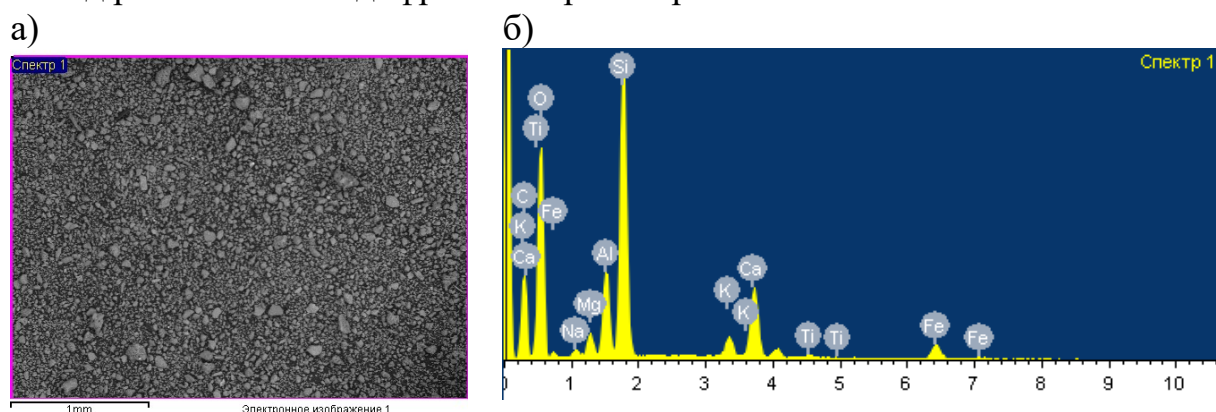
Многочисленные исследования по использованию шлаков посвящены в основном для технологии получения стеновых керамических материалов. Эти технологии в основном базируются на основе пластического и полусухого формования керамических масс. При этом размеры и виды продукции строго регламентированы по Государственным стандартам и не предназначены для использования в качестве керамических брусчаток.

Поэтому для получения керамических брусчаток с различными формами, цветами и конфигурациями с целью использования для устройство тротуаров, аллеи, парковых зон, внутридворовых дорог, детских площадок, автостоянок и других городских территории необходимы новые научно-технологические исследования.

Эти исследования должна включать подбор сырьевых материалов, решения технологических задач по подготовке сырья, по разработке оптимальных составов сырьевых смесей с учетом доминирующих факторов на стадии перемешивания, формования, сушки и обжига. При этом должны быть решены вопросы касательно ресурсосбережения и энергосбережения.

Исследования проводились в системе суглинок-бентонит-доменный гранулированный шлак.

Для определения локального элементного состава образцов опоки был использован метод растровой электронной микроскопии (РЭМ) марки JSM-6390LV с энерго - дисперсионным микроанализом, для определения химического элементного состава был использован метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой марки ICP-MS Agilent 7500сх. Для определения минералогического состава был использован метод рентгеновской дифрактометрии марки X'Pert PRO MPD.



Доменный гранулированный шлак АО «Арселор-Миттал Темиртау» представляет собой – сыпучий материал серого цвета. Резкое охлаждение шлакового расплава в процессе грануляции обуславливает в основном его стекловидное строение. Содержание стеклофазы в них составляет 65-97% (рисунок-14)

Таблица 12 - Гранулометрический состав доменного гранулированного шлака

Диаметр отверстий сита, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	менее 0,14
Остаток на сите, %	14-17	35-37	26-30	14-17	2-5	2-4

Химический состав доменного гранулированного шлака АО «Арселор Миталл Темиртау» представлен в таблице 13.

Таблица 13 - Химический состав доменного гранулированного шлака АО «Арселор Миталл Темиртау»

	Содержание оксидов, мас. %												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	FeO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂	TiO ₂	SrO	п.п.п.
Шлак доменный гранулированный Наименование АО «Арселор Миталл Темиртау»	40,62	16,24	0,19-0,52	42,11	0,43	5,33-10,39	1,66	0,36-1,5	0,42-1,32	-	0,62-0,88	0,11-1,37	0,92

Резкое охлаждение шлакового расплава в процессе грануляции обуславливает в основном его стекловидное строение. Содержание стеклофазы в них составляет 65-97%.

Рентгенофазовый анализ (рисунок 14) термообработанного шлака в интервале температур 950 - 1000⁰С показывает наличие в нем волластонита (d/n = 3,85; 3,50; 3,30; 2,96; 2,706; 2,55; 2,34; 2,18; 2,02; 1,82; 10⁻¹⁰м), мелилита (d/n=3,06; 2,86; 2,47; 2,30; 1,98; 1,88; 10⁻¹⁰м) и куспидина (d/n=3,30; 3,06; 2,55; 2,30*10⁻¹⁰м).

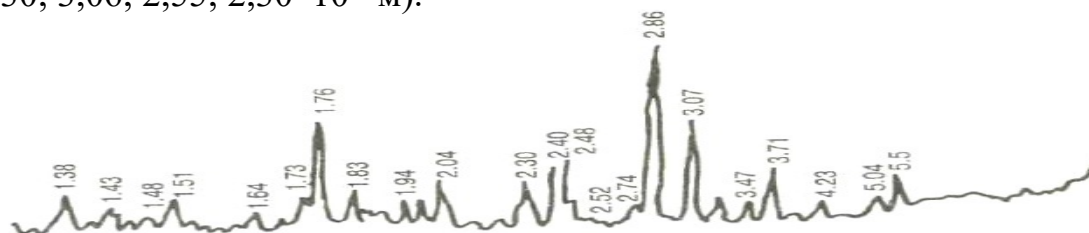


Рисунок 14 - Рентгенограмма доменного гранулированного шлака АО «Арселор Миталл Темиртау» после термообработки при температуре 1000 °С.

Микрофотографии доменного гранулированного шлака АО «Арселор Миталл Темиртау» представлены на рисунке 15.



а)



б)

Рисунок 15 - Микрофотографии доменного гранулированного шлака

С целью разработки состава для получения керамической брусчатки были подготовлены четыре состава керамических масс. Керамические композиции подготавливались путем смешивания сухих порошков суглинка, бентонита и доменного гранулированного шлака в соотношениях, представленных в таблице 14

Таблица 14 - Исследуемые составы керамических масс

номера составов	массовая доля, %		
	суглинок	бентонит	доменный гранулированный шлак
1	85	5	10
2	70	10	20
3	55	15	30
4	45	20	35
Контрольный состав без добавки	85	15	-

Для приготовления керамических масс сырьевые материалы сначала высушивались в сушильном шкафу при температуре 70-80 °С до остаточной влажности 5-7% и размалывались в лабораторной шаровой мельнице до полного прохождения через сито 1,0 мм. Полученные порошки дозировались, согласно, исследуемых составов и тщательно перемешивались в лабораторной мешалке до получения однородной смеси. После чего в сухую смесь добавлялась вода согласно формовочной влажности каждого состава и снова перемешивались до получения гомогенной смеси. Увлажненную керамическую массу вылеживали в эксикаторе в течении 48 часов с целью полного насыщения смеси. После окончания срока вылеживания и керамических масс формовали образцы

цилиндры с размерами 50x50 мм методом вибропрессования. Отформованные образцы высушивали в сушильном шкафу при $t=70 - 80^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы. Высушенные образцы обжигались в лабораторной электрической печи марки СНОЛ58/350 при температуре 1000°C . Скорость подъема температуры составляла $150^{\circ}\text{C}/\text{час}$. Обожжённые образцы охлаждались в отключенной печи до комнатной температуры.

После термообработанные образцы подвергались испытаниям с целью определения физико-механических свойств. В качестве исследуемых физико-механических свойств выбрали коэффициент чувствительности к сушке по методу Чижского, предел прочности при сжатии и изгибе, средняя плотность, водопоглощение и морозостойкость.

За критерий чувствительности к сушке принята длительность периода облучения свежесформованного образца лучистым тепловым потоком до момента возникновения в нем трещины (образец размером 55x55x10 мм). Период облучения до появления трещин определены как среднеарифметическое из результатов испытания трех образцов и оценили чувствительность к сушке керамической массы: высокочувствительные это менее 100 секунд, среднечувствительные 101-108 секунд, малочувствительные это более 180 секунд. По этой методике высокочувствительные керамические массы при облучении в них быстрее появляются первые трещины. При среднечувствительных и малочувствительных керамических массах первые трещины появляются более продолжительном облучении. Поэтому чем керамическая масса высокочувствительна к сушке чем быстрее появляются первые трещины при их тепловом облучении.

Результаты проведенных научно-экспериментальных работ представлены в таблице 15.

Таблица 15– Физико-механические свойства керамических образцов термообработанных при температуре 1000°C

Но мера соста вов	коэффици ент чувствите льности к сушке, секунд	Сырцо вая про чность, МПа	Средняя плотность, г/см ³	Прочность, МПа		Водопо глащение, %	Морозо стой кость, циклы
				При сжатии	При изгибе		
1	175		1,63	19,7	2,4	15,4	72
2	182		1,71	22,4	3,5	13,3	84
3	185		1,78	28,2	4,8	10,4	95
4	188		1,84	30,4	6,6	8,2	100
Конт Роль ные образ	110		1,58	18,5	2,2	17,5	50

цы без доба вок							
-----------------------	--	--	--	--	--	--	--

В начальном этапе для установления закономерности изменения физико-механических свойств образцов от количества добавки доменного гранулированного шлака исследования проводились на сырцовых образцах. В качестве исследуемых свойств выбраны коэффициент чувствительности к сушке по методу Чижского как критерий сушильных свойств, сырцовая прочность как критерий формовочных свойств и средняя плотность как одно из критериев технологических свойств образцов. Для определения сырцовой прочности из исследуемого состава керамической массы формовались образцы цилиндры диаметром и высотой 50 мм. Высушенные образцы цилиндры испытывались на предмет определения предела прочности при сжатии на гидравлическом прессе по общеустановленной методике.

Как показывают результаты полученных научно-экспериментальных работ, что с увеличением дисперсности гранулированного доменного шлака улучшаются сушильные свойства керамической массы. В частности керамическая масса с использованием порошков гранулированного шлака прошедшие переводить исследуемую смесь из категорий высокочувствительных в категорию среднечувствительных. Дальнейшее увеличение доменного гранулированного шлака до 35% переводить керамическую массу в категорию малочувствительных смесей. Указанный эффект объясняется по видимому более полным расклиниванием высокочувствительных к сушке дисперсных частиц суглинка бентонита более тонкодисперсными частицами непластичного гранулированного шлака. В результате тонкомолотые частицы гранулированного шлака способствует легкому переносу влаги из керамической массы без дефектов и сушильных трещин.

В результате анализа физико-механических свойств термообработанных образцов при температуре 1000 °С позволили установить основные закономерности их изменения в зависимости от количества добавки доменного гранулированного шлака. С увеличением количества доменного гранулированного шлака наблюдается увеличение показателей средней плотности и прочности при сжатии и изгибе образцов.

При температуре обжига 1000 °С степень увеличения показателей указанных свойств увеличивается. Так увеличение средней плотности возрастает от 1,63 до 1,84 г/см³ а прочность при сжатии от 19,7 кгс/см² до 30,4 кгс/см².

Сравнительный анализ показывает, что рост прочности образцов при температуре обжига 1000 °С с увеличением количества добавки гранулированного шлака до 35% составляет почти в 1,5 раза. По

видимому тонкодисперсные порошки гранулированного шлака интенсифицирует процесс спекания в композиции с глинистыми минералами под воздействием высокой температуры. Благодаря повышенной удельной поверхности гранулированного шлака вероятно повышается реакционная способности в сырьевой смеси за счет увеличения число контактов между частицами, способствующие улучшению физико-механических свойств образцов не только на стадий обжига но и на стадиях формования и сушки.

На рентгенограммах (рис. 16) наблюдается резкое увеличение рефлексов β - валлостонита со значительным снижением рефлексом кварца. Причем абсолютное увеличение основных линий валлостонита - $2,97 \times 10^{-10}$ м.

Валлостонит - природный силикат кальция с химической формулой CaSiO_3 . Для природного валлостонита характерна игольчатая структура кристаллов, при раскалывании которых образуются зерна игольчатой формы.

Игольчатая форма зерна валлостонита определяет его основное направление использования в качестве микроармирующего наполнителя. Поэтому присутствие валлостонита в составе керамической массы играет роль армирующего компонента.

Действительно следует отметить, что высокие прочностные показатели достигается в тех составах где в продуктах обжига наибольшая кристаллизация β - валлостонита.

Под микроскопом (рис. 17) обожженных при температуре 1000°C наблюдается поризованные шлаковые зерна, закристаллизованные низкотемпературной формой валлостонита. В большой степени закристаллизованных шлаковых зерен наблюдается у образцов составов, где количество доменного гранулированного шлака составляет 30-35%.

Между шлаковыми зернами расположены частично аморфизованные глинистые минералы и обломки кварца. Наблюдается появление стекла с показателем преломления 1,500 - 1,520, что свидетельствует о появлении эвтектических расплавов. Полевой штат подвержен частичной трещиноватости.

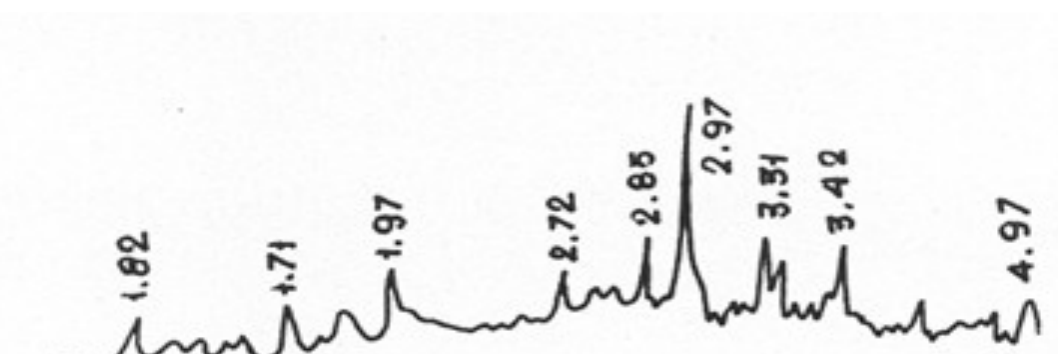
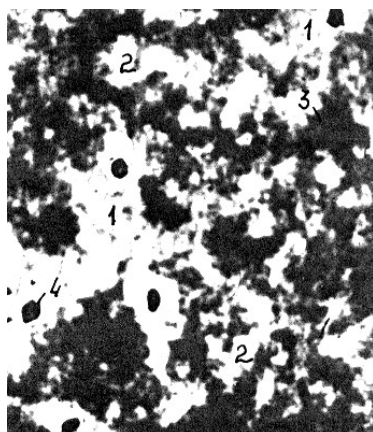


Рисунок 16 - Рентгенограмма обожженных образцов при температуре 1000°C



а)



б)

Рисунок 17 – Микрофотографии обожженных образцов при $T = 1000^{\circ}\text{C}$

а) микроструктура образцов, б) игольчатые минералы волластонита закристаллизованные из зерен доменного гранулированного шлака

1 – закристаллизованные зерна шлака, 2 - обломки кварца,
3 - глинистая масса, 4 - поры

Факты улучшения формовочных и конечных свойств образцов подтверждается и изменениями показателей водопоглощения. Анализ изменения показателей водопоглощения показывает, что с увеличением количества доменного гранулированного шлака наблюдается значительное снижение их показателей. Так снижение показателей водопоглощения обожженных образцов при температуре обжига 1000°C составляет от 15,4% до 8,2%.

Установление основных закономерности изменения физико-механических свойств образцов гранул в зависимости от дисперсности гранулированного шлака позволили оценить эффективность применения тонкодисперсных порошков в составе сырьевой смеси на основе суглинка Атырауского месторождения для получения керамического дорожного материала.

Выводы по разделу 3.4.1

1. Проведены научно-экспериментальные работы по использованию доменного гранулированного шлака АО «Арселор Миталл Темиртау» для производства керамической брусчатки, в качестве добавки, улучшающие физико-механические свойства изделия на стадии сушки и обжига.

2. Установлены основные закономерности изменения физико-механических свойств образцов керамической брусчатки в зависимости от количества добавки доменного гранулированного шлака при температуре обжига 1000°C .

3. Установлено, что увеличение количества добавки доменного гранулированного шлака до 35% переводить керамическую массу в

категорию малочувствительных смесей. Это позволяет, производить сушку отформованных образцов в ускоренном темпе без сушильных трещин.

4. Установлено, что с увеличением количества добавки гранулированного шлака до 35% рост прочности образцов при температуре обжига 1000 °С составляет почти в 1,5 раза по сравнению с минимальным содержанием шлака.

5. По результатам рентгенофазового и электронно-микроскопического анализа установлено, что в образцах обожженных при температуре 1000°С наблюдается поризованные шлаковые зерна, закристаллизованные низкотемпературной формой волластонита (CaSiO_3). В большой степени закристаллизованных шлаковых зерен наблюдается у образцов составов, где количество доменного гранулированного шлака составляет 30-35%.

6. Доказано, что присутствие волластонита в составе керамической массы играет роль армирующего компонента. Действительно следует отметить, что высокие прочностные показатели достигается в тех составах, где в продуктах обжига наибольшая кристаллизация волластонита.

7. В результате проведенных научно-экспериментальных работ доказано целесообразность производства керамических брусчаток в сырьевой системе суглинок-бентонит - гранулированный доменный шлак отвечающим требованиям качества, эстетичности, экологичности, ресурсо - и энергосбережения.

3.4.2 Керамическая композиция для производства керамических брусчаток методом вибропрессования в системе суглинок-бентонит – ИСК

Обжиг одна из основных стадий в технологии керамических изделий.

При обжиге в процессе спекания происходит окончательное формирование их фазового состава и структуры.

Спекание - это процесс уплотнения и упрочнения пористых порошковых изделий под влиянием термической обработки, который сопровождается увеличением плотности и усадки, уменьшением пористости, изменением механических и физико-химических характеристик материала и приближением их к характеристикам компактного материала [120-122].

При нагревании в сформованных заготовках могут происходить очень разнообразные процессы.

На начальных стадиях: удаление механически и химически связанной воды; выгорание органических веществ; термическое разложение кристаллических соединений (карбонатов, сульфатов) с выделением газов и паров; линейное (объемное) расширение; другие структурообразования, интенсифицирующие процесс спекания.

На последующих стадиях происходят твердофазные химические реакции,[123] взаимные растворения компонентов с образованием новых фаз, плавления отдельных составляющих, полиморфные превращения, концентрация внутренних напряжений и т. п. Поэтому спекание можно определить как физико-химический процесс и как технологическую операцию [124, 125].

Высокая себестоимость этого передела обусловлена применением высоких температур и использованием не всегда оптимальных режимов обжига. Разработка экономичных режимов возможна только на основе научного обоснования.

Несмотря на большое разнообразие химического состава материалов, используемых в керамическом производстве, общей для всех технологий является технологическая операция спекания материалов при температуре ниже температуры плавления материалов.

Кристаллическая фаза в основном определяет свойства конечного керамического материала, в то время как стекловидная фаза образует прослойки между зёрнами основного материала.

В зависимости от типа керамики доля стекловидной фазы может составлять от долей процента до десятков процентов.

С увеличением доли стекловидной фазы упрощается технология производства керамики, но ухудшаются ее механические и физические свойства.

Для регулирования технологических процессов при производстве керамики в состав шихты вводят добавки, различающиеся своим функциональным назначением:

- минерализаторы — добавки, обеспечивающие интенсификацию процессов спекания.

По механизму действия минерализаторы обеспечивают либо активизацию кристаллизации заданных фаз, либо образуют стеклофазу, снижающую температуру спекания, либо активируют поверхность зёрен кристаллической фазы керамического материала;

- пластификаторы — добавки, обеспечивающие повышение пластичности шихты при формовке заготовок деталей.

- модификаторы — добавки, обеспечивающие управление физическими свойствами керамики.

Для многих керамических изделий требующих высокотемпературную обработку для получения высококачественной продукции различного назначения введение функциональных добавок является обязательным условием. Сюда относятся технологии по производству технической керамики, различных огнеупорных изделий, изоляторов и т.п [126-132].

Определяющим в формировании и модификации свойств керамических материалов является управляемый высокотемпературный

синтез. Однако, классические его методы для многокомпонентных систем, в которых разрушение структуры сырья до уровня элементарной ячейки способствует синтезу кристаллических новообразований, не обеспечивают получение строительной керамики нужной гомогенности, микроструктуры, а, следовательно, и качества. Получение шихты для производства керамических материалов необходимой дисперсности, однородности, близкой к стехиометрическому составу, можно осуществить, применяя различные методы [133, 134].

На процессы спекания особое влияние имеют технологические факторы (параметры технологии). Эти факторы можно разделить на механические, теплотехнические и химические. Механическое активирование происходит при измельчении материала.

В результате измельчения увеличивается свободная энергия и кривизна частиц, уменьшается путь диффузии (что благоприятно влияет на спекание) и разрушается макроструктура агломерата предыдущей фазы. Оптимальные значения тонкости помола, устанавливаемые опытом, определяются экономическими соображениями [135, 136].

Вообще механохимические методы с энергетической точки зрения имеют очень малое значение коэффициента полезного действия. Установлено, что порошки длительного сухого помола более активны при спекании (более реакционноспособны), чем порошки мокрого помола при равной их дисперсности.

К механическим параметрам технологии, ускоряющим спекание, относится уплотнение материала перед спеканием (прессование). На скорость спекания и достижение спеченного состояния материала прежде всего влияют температура спекания и скорость роста температуры [137].

Если максимальная температура спекания определяется свойствами материала и требованиями получения заданной пористости, то скорость подъема температуры в основном ограничивается необходимостью равномерности прогрева обжигаемого материала и получения материала без дефектов.

Скорость нагревания и характер газовой среды (режим обжига) устанавливают опытом с учетом физико-химических процессов в спекаемом материале. Для собственно спекания более благоприятен период подъема температуры, чем изотермическая выдержка.

Химическое активирование спекания сводится к введению добавок, как образующих, так и не образующих жидкую фазу.

Добавки, образующие жидкую фазу, подбирают, исходя из двух условий: жидкая фаза должна быть хорошо смачивающей и иметь возможно меньшую вязкость, добавку вводят в таком количестве, чтобы общее содержание жидкой фазы при температуре спекания было бы ниже 10 % [138].

Для снижения температуры жидкофазного спекания добавки подбираются из условия образования легкоплавких эвтектик. Добавки, не образующие с основным материалом жидкой фазы, в свою очередь подразделяют на три группы: активирующие процесс спекания и одновременно ускоряющие рекристаллизацию (TiO_2 в Al_2O_3 ; Li_2O в MgO ; CaO в TiO_2 и др.); активирующие спекание, но замедляющие процесс рекристаллизации (MgO или BeO в Al_2O_3); замедляющие процесс спекания и замедляющие рост зерен (CaO , CoO , Cd_2O_3 в Al_2O_3) [139, 140].

Добавки можно классифицировать и по растворимости их в основном веществе: полностью растворимые; нерастворимые, но образующие жидкую фазу; инертные; образующие химическое соединение. Обычно добавки влияют на спекание при малых концентрациях. При этом следует учитывать, что добавки, образующие твердые растворы, ускоряют спекание, а добавки, образующие химические соединения, тормозят.

Эффект действия добавок зависит от концентрации. Оптимальная концентрация добавок должна находиться в пределах растворимости и не превышать концентрации, приводящей к образованию побочных кристаллических фаз. Например, для силикатов и оксидов системы $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ в большинстве случаев оптимальная доля добавки находится в пределах 0,05-1,0 % [141-143].

Увеличение концентрации добавок заведомо выше оптимальных приводит к образованию в межзеренном пространстве новых кристаллических фаз, представляющих оксиды добавок или продукты их взаимодействия с основным оксидом. Количество добавки влияет и на рекристаллизацию.

Установлено, что добавки, характеризующиеся значительной растворимостью, усиливают рекристаллизацию оксидов при спекании; добавки, которые растворяются в количествах < 1 %, либо слабо влияют на рекристаллизацию, либо препятствуют ее прохождению.

Механизм действия микродобавок заключается в одновременном протекании непосредственного взаимодействия добавок с основным веществом на поверхности контакта и диффузии катионной добавки внутрь зерен и микрокристаллов. Последний процесс ослабляет связи между микрокристаллами и блоками мозаики, что создает благоприятные условия для зернограничного проскальзывания под действием капиллярных сил. Наконец, добавки могут играть роль своеобразной смазки, облегчающей скольжение макрочастиц.

Практически с помощью активирующих добавок даже в малом количестве удастся существенно снизить температуру спекания и модифицировать структуру керамического черепка [144-146].

На наш взгляд очень актуально использования малых активизирующих добавок (интенсификаторов спекания и кристаллизации)

не только в составе керамических масс для производства специальных керамических материалов (техническая керамика, огнеупоры и т.п.) но и для традиционных керамических материалов строительного назначения.

Несмотря на очевидные преимущества различных активизирующих добавок в составе керамических масс гарантирующих энергосбережение и качество готовой продукции многие существующие предприятия по производству керамического кирпича спроектированы на работу технологического оборудования на основе только глинистого сырья. Поэтому эти предприятия не имеет технической возможности использования малых активизирующих добавок, позволяющие обеспечить энерго- и ресурсосбережение.

Для решения данной проблемы необходимо не только разрабатывать новые эффективные составы интенсификаторов спекания и кристаллизации, способствующих созданию кристаллической каркасной структуры и повышению активности взаимодействия компонентов смеси при условии снижения температуры спекания но и выдавать практические рекомендации по внедрению их в конкретное производство.

Это задача должна решаться в комплексе рационального использования природных и техногенных ресурсов с учетом их физико-механических и химико - минералогических характеристик.

Разнообразие вторичных сырьевых ресурсов - многотоннажных отходов промышленности, по химическому и минералогическому составу подчас не уступающих добываемому из недр земли сырью, а иногда по технологическим кондициям и превосходящих его требует высококвалифицированного подхода к эффективному использованию этих ресурсов в создании эффективных технологических решений и новых композиционных составов интенсификаторов спекания и кристаллизации для применения в технологии строительной керамики [147].

Поэтому разработка интенсификаторов спекания и кристаллизации и использования их в составе керамической массы для производства керамической брусчатки методом вибропрессования является актуальной задачей.

В Западном Казахстане (г. Уральск) ТОО «Стекло-Сервис» (www.steklo-service.kz) является одним из крупнейших центров по промышленной переработке стекла в Казахстане. Сегодня предприятие располагает собственной производственной базой в городе Уральск, филиалами в городах Актобе, Атырау и Шымкент, представительством в городе Нур-Султан.

В результате деятельности ТОО «Стекло-Сервис» образуется тонкодисперсный стеклопорошок и стеклобой, которые являются отходами данного предприятия. Ежегодный выход данного отхода составляет более 2500-3000 тонн химический состав которых представлен в табл.16. В настоящее время в отвалах в хранениях находится более 30 тыс. тонн.

Таблица 16 - Химический состав стеклоотходов ТОО «Стекло-Сервис»

Наименование сырья	Химический состав мас. %							
Стеклоотходы ТОО «Стекло-Сервис»	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
	71,8-72,4	1,8-2,2	0,2	6,4-6,7	3,8-4,2	14,5-14,9	0,5-1,5	0,5

По результатам рентгенофазового анализа (РФА) установлено, что стеклоотходы ТОО «Стекло-Сервис» является рентгеноаморфным, что свидетельствует об отсутствии кристаллических фаз. По результатам исследования установлено, что температура начала размягчения составляет 720-750 °С.

Для достижения поставленной цели сначала отдельно были приготовлены инициаторы спекания и кристаллизации для дальнейшей добавки в основную керамическую массу.

Приготовление инициатора спекания и кристаллизации осуществлялась по следующей технологической последовательности: доменный гранулированный шлак и стеклоотходы взвешивались с помощью электронных весов с соотношений 1:1. Затем компоненты загружались в лабораторную шаровую мельницу и подвергались совместному помолу до удельной поверхности 2000-2500 см² /г. Полученные порошки инициаторов спекания и кристаллизации использовались как мини добавки в основную керамическую массу.

Для получения керамической брусчатки были подготовлены четыре состава керамических масс. Керамические композиции подготавливались путем смешивания сухих порошков суглинка, бентонита и инициаторов спекания и кристаллизации в соотношениях, представленных в таблице 17.

Таблица 17 - Исследуемые составы керамических масс

номера составов	массовая доля, %		
	суглинок	бентонит	инициаторы спекания и кристаллизации
1	85	5	5
2	70	10	7
3	55	15	10
4	45	20	15
Контрольный состав без добавки	80	20	-

Для приготовления керамических масс суглинок и бентонит сначала высушивались в сушильном шкафу при температуре 70-80 °С до остаточной влажности 5-7% и дозировались с помощью электронных весов

согласно данных таблицы 10 и совместно размалывались в лабораторной шаровой мельнице до полного прохождения через сито 1,0 мм. В состав полученных глинистых порошков отдельно добавлялись инициаторы спекания и кристаллизации в пределах 5-15% от массы глинистых порошков и тщательно перемешивались в лабораторной мешалке до получения однородной смеси. После чего в сухую смесь добавлялась вода до 10-12% и снова перемешивались до получения гомогенной смеси. Увлажненную керамическую массу вылеживали в эксикаторе в течении 48 часов с целью полного насыщения смеси. После окончания срока вылеживания и керамических масс формовали образцы цилиндры с размерами 50x50 мм методом вибропрессования. Отформованные образцы высушивали в сушильном шкафу при $t=70 - 80^{\circ}\text{C}$ до постоянной массы. Высушенные образцы обжигались в лабораторной электрической печи марки СНОЛ 58/350 при температуре $950-1000^{\circ}\text{C}$. Скорость подъема температуры составляла $150^{\circ}\text{C}/\text{час}$. Обожжённые образцы охлаждались в отключенной печи до комнатной температуры (рис. 18).

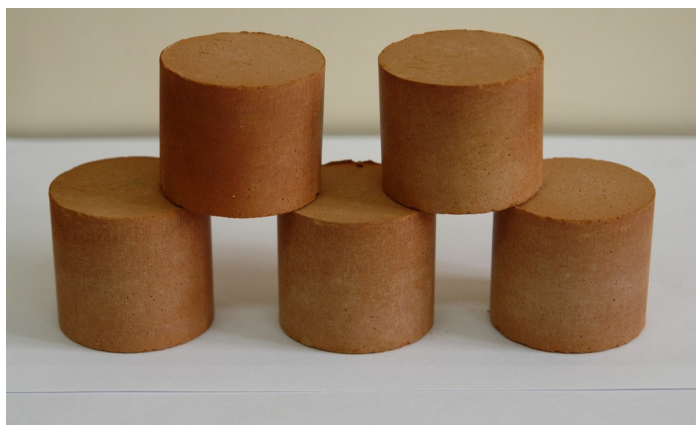


Рисунок 18 - Общий вид керамических образцов отформованных методом вибропрессования и содержащих инициаторы спекания и кристаллизации ($T - 950 - 1000^{\circ}\text{C}$)

После термообработанные образцы подвергались испытаниям с целью определения физико-механических свойств. В качестве исследуемых физико-механических свойств выбрали коэффициент чувствительности к сушке по методу Чижского, предел прочности при сжатии и изгибе, средняя плотность, водопоглощение и морозостойкость.

За критерий чувствительности к сушке принята длительность периода облучения свежесформованного образца лучистым тепловым потоком до момента возникновения в нем трещины (образец размером $55 \times 55 \times 10$ мм). Период облучения до появления трещин определены как среднеарифметическое из результатов испытания трех образцов и оценили чувствительность к сушке керамической массы: высокочувствительные это менее 100 секунд, среднечувствительные 101-108 секунд, малочувствительные это более 180 секунд. По этой методике высокочувс-

твительные керамические массы при облучении в них быстрее появляются первые трещины. При среднечувствительных и малочувствительных керамических массах первые трещины появляются более продолжительном облучении. Поэтому чем керамическая масса высокочувствительна к сушке тем быстрее появляются первые трещины при их тепловом облучении.

Результаты проведенных научно-экспериментальных работ представлены в таблице 18

Таблица 18 – Физико-механические свойства керамических образцов термообработанных в интервале температур 950 - 1000⁰С

Номера составов	Коэффициент чувствительности к сушке, секунды	Средняя плотность, г/см ³	Прочность, МПа		Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклы
			При сжатии	При изгибе		
1	165	1,87-1,92	27,7 – 29,6	2,4	8,4 - 9,5	95
2	175	1,92 – 2,03	32,2 -33,4	3,5	7,3 – 8,2	100
3	182	2,17 – 2,19	38,2- 39,3	4,8	6,4 - 7,3	115
4	185	2,24 – 2,26	42,4 - 44,3	6,6	4,5 - 5,4	120
Контрольные образцы без добавок	110	1,58	18,5	2,2	17,5	40

Как показывают результаты полученных научно-экспериментальных работ, что с увеличением содержания инициаторов спекания и кристаллизации улучшаются сушильные свойства керамической массы. В частности керамическая масса с использованием инициаторов спекания и кристаллизации переводит исследуемую смесь из категорий высокочувствительных в категорию среднечувствительных. Дальнейшее увеличение инициаторов спекания и кристаллизации до 15% переводит керамическую массу в категорию малочувствительных смесей. Указанный эффект объясняется по видимому более полным расклиниванием высокочувствительных к сушке дисперсных частиц суглинка бентонита более тонкодисперсными частицами инициаторов спекания и кристаллизации. В результате тонкомолотые частицы инициаторов спекания и кристаллизации способствует легкому переносу влаги из керамической массы без дефектов и сушильных трещин.

В результате анализа физико-механических свойств термообработанных образцов в интервале температур 950 - 1000 ⁰С

позволили установить основные закономерности их изменения в зависимости от количества добавки инициаторов спекания и кристаллизации. С увеличением количества инициаторов спекания и кристаллизации наблюдается увеличение показателей средней плотности и прочности при сжатии и изгибе образцов.

При температуре обжига 1000°C степень увеличения показателей указанных свойств увеличивается. Так увеличение средней плотности возрастает от 1,87 до 2,26 г/см³ а прочность при сжатии от 22,7 МПа до 44,3 МПа.

Сравнительный анализ показывает, что рост прочности образцов при температуре обжига 1000°C с увеличением количества добавки инициаторов спекания и кристаллизации до 15% составляет почти в 1,5 раза. По видимому тонкодисперсные порошки инициаторов спекания и кристаллизации интенсифицирует процесс спекания в композиции с глинистыми минералами под воздействием высокой температуры. Благодаря повышенной удельной поверхности инициаторов спекания и кристаллизации вероятно повышается реакционная способности в сырьевой смеси за счет увеличения число контактов между частицами, способствующие улучшению физико-механических свойств образцов не только на стадий обжига но и на стадиях формования и сушки.

Исследования в изменении физико - механических свойств и структуры керамики показывают, что наибольшей однородностью, плотностью и прочностью обладает образцы содержащих инициаторы спекания и кристаллизации в количестве от 7, 0 % до 15,0% и обожженные в интервале температуре обжига $950 - 1000^{\circ}\text{C}$. При этом лицевая поверхности керамических образцов отформованных вибропрессованием и обожженных в интервале температур $950 - 1000^{\circ}\text{C}$ отличается особой гладкостью без дефектов а поверхность образцов в изломе отличается высокой спеченной однородностью (рис 19.)

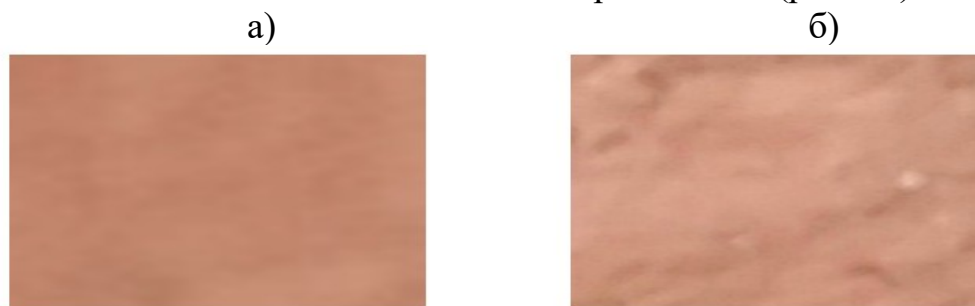


Рисунок 19 – Плотная макроструктура образцов обожженных в интервале температур $950 - 1000^{\circ}\text{C}$. а) - фотография лицевой поверхности керамического образца, б) - фотография поверхности керамического образца в изломе

Этот факт доказывает, что именно добавка инициаторов спекания и кристаллизации способствует протеканию жидкофазного спекания и кристаллизации, что приводит к уплотнению и упрочнению структуры керамического черепка. Следует также отметить, что присутствие тонкодисперсного стеклопорошка (фракции менее 0,1мм) в составе инициаторов спекания кристаллизации способствует раннему появлению жидкой фазы в составе керамической массы, так как температура размягчения стеклопорошка уже начинается при температуре 720-750 °С.

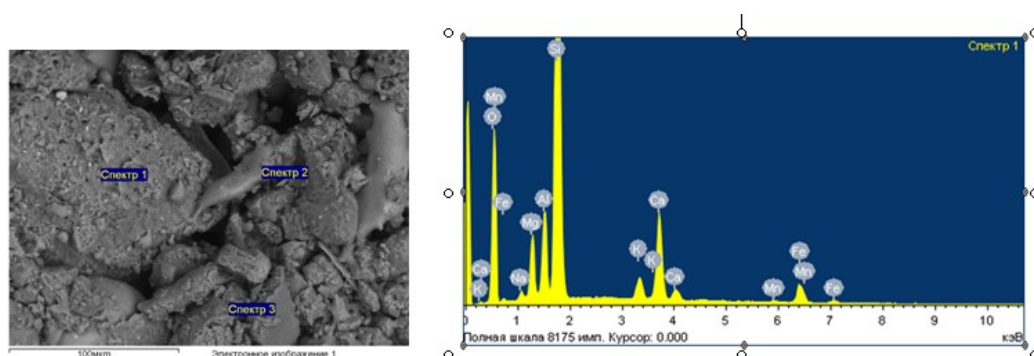


Рисунок 20 - Микроструктура керамической композиции суглинок-доменный гранулированный шлак - уголь (увеличение x2000)

На рентгенограмме (рис. 21) наблюдается резкое увеличение рефлексов β- волластонита со значительным снижением рефлексом кварца. Причем абсолютное увеличение основных линий волластонита - $2,97 \times 10^{-10}$ м.

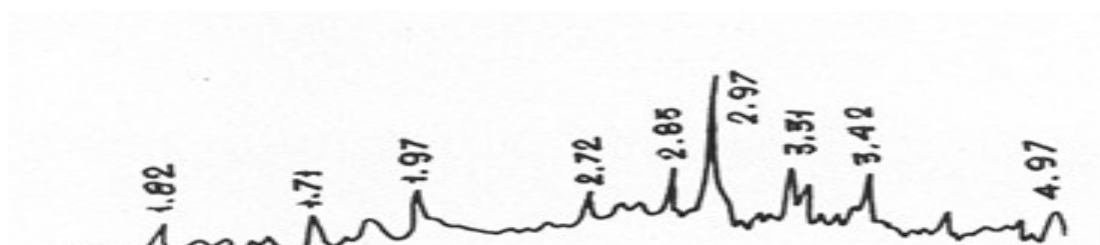


Рисунок 21 - Рентгенограмма обожженных керамических образцов в интервале температур 950 - 1000°C

Волластонит - природный силикат кальция с химической формулой CaSiO_3 . Для природного волластонита характерна игольчатая структура кристаллов, при раскалывании которых образуются зерна игольчатой формы.

Игольчатая форма зерна волластонита определяет его основное направление использования в качестве микроармирующего наполнителя. Поэтому присутствие волластонита в составе керамической массы играет роль армирующего компонента.

Действительно следует отметить, что высокие прочностные показатели достигаются в тех составах, где в продуктах обжига наибольшая кристаллизация β - волластонита.

Под микроскопом (рис. 20) обожженных в интервале температур 950 - 1000°C наблюдается игольчатые закристаллизованные минералы низкотемпературной формы β - волластонита. В большой степени минералы β - волластонита наблюдается у образцов составов, где количество инициаторов спекания и кристаллизации составляет 7-15%.

Факты улучшения формовочных и конечных свойств образцов подтверждается и изменениями показателей водопоглощения. Анализ изменения показателей водопоглощения показывает, что с увеличением количества инициаторов спекания и кристаллизации наблюдается значительное снижение их показателей. Так снижение показателей водопоглощения обожженных образцов при температуре обжига 1000°C составляет от 9,5% до 5,4% .

На рисунке 22 представлены фрагменты процесса обжига натуральных образцов керамических брусчаток с использованием инициаторов спекания и кристаллизации.

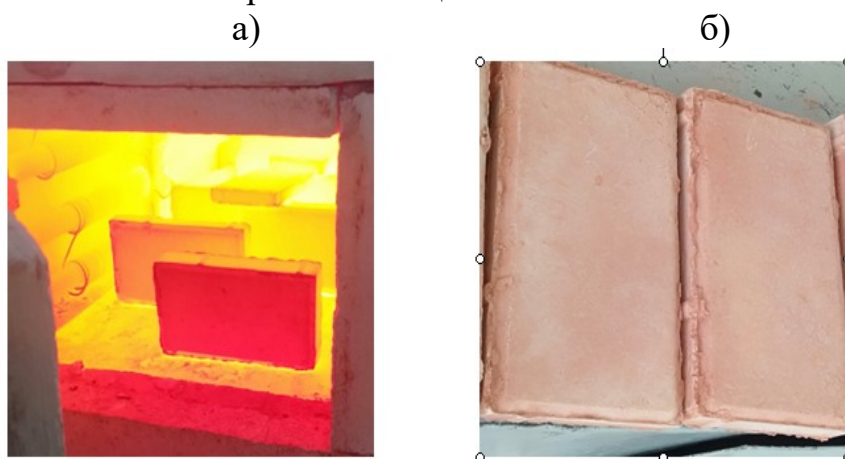


Рисунок 22 - Фрагменты процесса обжига натуральных образцов керамических брусчаток с использованием инициаторов спекания и кристаллизации. а) – процесс обжига в электрической печи в интервале температур обжига 950 - 1000°C, б) – готовые натуральные образцы керамических брусчаток.

Установление основных закономерности изменения физико-механических свойств образцов полученных методом вибропрессования в зависимости от содержания инициаторов спекания и кристаллизации позволили оценить эффективность их применения для получения керамической брусчатки в высокими эксплуатационными свойствами.

Выводы по разделу 3.4.2

1. Актуализирована использования малых активизирующих добавок (интенсификаторов спекания и кристаллизации) не только в составе керамических масс для производства специальных керамических материалов (техническая керамика, огнеупоры и.т.п.) но и для традиционных керамических материалов строительного назначения.

2. Проведены научно-экспериментальные работы по созданию инициаторов спекания и кристаллизации с использованием доменного гранулированного шлака АО «Арселор Миталл Темиртау» и стеклоотходов ТОО «Стеглосервис» для производства керамической брусчатки методом вибропрессования.

3. Установлены основные закономерности изменения физико-механических свойств образцов керамической брусчатки в зависимости от количества инициаторов спекания и кристаллизации добавки в интервале температур обжига 950 - 1000°C.

4. Установлено, что присутствие тонкодисперсного стеклопорошка (фракции менее 0,1мм) в составе инициаторов спекания кристаллизации способствует раннему появлению жидкой фазы в составе керамической массы, так как температура размягчения стеклопорошка начинается уже при температуре 720-750 °C.

5 Установлено, что увеличение количества инициаторов спекания и кристаллизации 15% переводит керамическую массу в категорию малочувствительных смесей. Это позволяет, производит сушку отформованных образцов в ускоренном темпе без сушильных трещин.

6. По результатам рентгенофазового и электронно-микроскопического анализа установлено, что в образцах обожженных при температуре в интервале температур 950-1000°C наблюдается кристаллизация низкотемпературной формой β- волластонита (CaSiO_3).

7. Доказано, что присутствие β- волластонита в составе керамической массы играет роль армирующего компонента. Действительно следует отметить, что высокие прочностные показатели достигается в тех составах, где в продуктах обжига наибольшая кристаллизация β- волластонита.

8. В результате проведенных научно-экспериментальных работ доказано целесообразность производства керамических брусчаток методом вибропрессования содержащих инициаторы спекания и кристаллизации отвечающим требованиям качества, эстетичности, экологичности, ресурсо - и энергосбережения.

3.4.3 Керамическая композиция для производства керамических брусчаток методом вибропрессования в системе суглинок-талык

Долгосрочные планы развития городов неразрывно связано с

увеличением темпов строительства жилых комплексов, индивидуального жилья и других социально-значимых объектов. В развитии городской территорий особую роль играет решение комплекс вопросов по их благоустройству для комфортабельного проживания населения. При этом одним из важных задач является благоустройство тротуаров, внутридворовых дорог и детских площадок, а также скверов, аллей и парковых зон требуют большого количества широкого ассортимента дорожно-строительных материалов. В настоящее время для решения этих задач широко используется бетонные брусчатки различной конфигурации и асфальтобетон. Однако как показывает, практика в процессе эксплуатации этих дорог часто наблюдается их разрушение (рис.23).



Рисунок 23 - Фрагменты разрушения тротуаров, устроенных из бетонных брусчаток.

Дело в том, бетонные брусчатки обязательно подвергаются действиям сульфатных солей кислот и щелочей, так как они обязательно присутствуют в составе грунтов укладываемой поверхности и дополнительно подвергаются действиям химических реагентов поступающих от внешней среды (дожди, автомобильные масла, грунтовые воды и т.п.). Под действием этих химических реагентов бетонные брусчатки и изделия, изготовленные на основе цементных вяжущих, подвергаются коррозии, вследствие чего они со временем разрушаются.

При выборе строительных материалов для устройства городских дорог и тротуаров очень важно учесть и экологический фактор, заключающиеся в смягчений эффекта «островного» тепла выделяемых из поверхностей городских дорог и тротуаров.

Одним перспективных материалов для устройства городских тротуаров и других социально значимых территорий и площадей является керамические брусчатки.

Общеизвестно что, керамические материалы обладают высокой химической устойчивостью (98 – 99%) по отношению к растворам солей, кислот и щелочей. Благодаря этому свойству изделия не разрушаются под действием сульфатных солей, кислот и щелочей а также имеют более эстетический вид (рис. 24).



Рисунок 24 - Фрагменты тротуаров устроенных из керамических брусчаток и плиток

Кроме того, керамические материалы сильно не нагреваются под действием солнечного тепла из - за низкого показателя коэффициента теплопроводности.

Однако для успешного развития производство керамических материалов необходимо учесть факторы ресурсо- и энергосбережения [148].

Наиболее важным технологическим этапом при производстве керамических материалов является предварительная подготовка сырьевых компонентов, которая требует значительных энергетических и ресурсных затрат. В результате исследований ученых [149] по анализу современных технологии производства керамических плиток по сухому и мокрому способу выявлено, что в процессе подготовки сырья используется больше энергии и воды и, следовательно, является более дорогостоящим как с экономической, так и с экологической точки зрения. Учеными предложены альтернативные методы подготовки сырья, позволяющие значительно снизить энергии и воды.

Перспективными исследованиями в этом направлении является труды ученых, которые разработали технологии производства клинкерного кирпича для устройства дорог и тротуарных плиток [150-152].

Поэтому проведения научно-экспериментальных в этом направлении является актуальной задачей, так как в результате использования новых сырьевых материалов необходимы новые научные подходы касательно разработки технологических параметров производства керамических изделий с учетом их химико-минералогического состава и физико-механических свойств.

В результате анализа химико-минералогического состава установлено, что тальковая порода Шиелийского месторождения (Кызылординская область) являются талько – магнезитовым сырьем.

В качестве основных породообразующих минералов являются: тальк (49,2- 53,6%) и магнезит(35,8- 40,6%). Кроме того имеются следующие минералогические примеси: кальцит, хлорит, карбонат, магнетит, хромит, гидроксиды железа.

Электронно-микроскопические исследования показали, что кристаллы талька имеют чешуйчатый, таблитчатый, гексоганальный и

ромбический облик.

Тальковая порода Шиелийского месторождения отличается высокой кислотостойкостью и щелочестойкостью.

Сырьевые материалы сначала высушивались и размалывались в лабораторной шаровой мельнице до удельной поверхности 1200-1500 г/см². Подготовка составов керамических масс к экспериментальным исследованиям производилась путем добавления к глине тальковой породы в количестве до 7,0%. Затем компоненты отвешивались в нужных количествах и насухо перемешивались. После чего в сухую смесь добавлялась вода. Из полученной смеси формовали образцы цилиндры методом вибропрессования с диаметром и высотой 5 см. Отформованные изделия сушили в сушильном шкафу при t=100-110°C до постоянной массы.

Для исследования выбрали наиболее важные эксплуатационные характеристики керамики как огневая усадка, прочность при сжатии и изгибе, средняя плотность, водопоглощение и морозостойкость.

На начальном этапе исследования с целью определения зависимости физико-механических свойств керамической композиции от содержания тальковой породы обжиг производили только при одной фиксированной температуре. За фиксированную температуру обжига принимали 1000°C.

Обжиг производили в лабораторной электрической печи в камерной печи марки СНОЛ 58/350. Физико-механические свойства керамической композиции лессовидный суглинок-тальковая порода при фиксированной температуре обжига приведены в таблице 19.

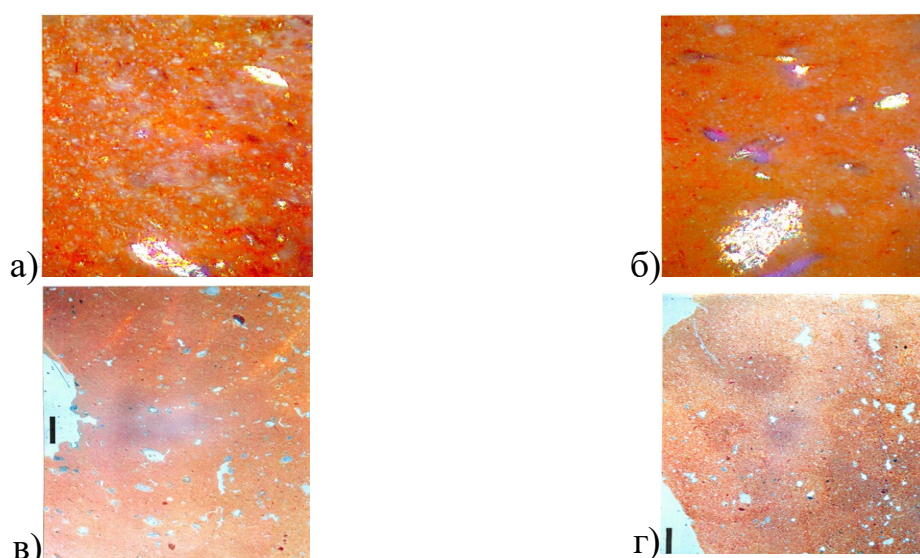
Таблица 19 - Физико-механические свойства керамической композиции глина - тальковая порода при фиксированной температуре обжига

Содержание талька, %	Огневая усадка, %	Средняя плотность, г/см ³	Прочность, МПа		Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклы
			при сжатии	при изгибе		
3,0	2.6	1,8585	25,67	1,94	20,4	45
5,0	3.4	1,8691	28,85	2.15	19.5	47
7,0	3.8	1,8738	31,26	3,66	18,6	51

Как показывают результаты экспериментальных исследований с увеличением содержания талька от 3,0% до 7%, наблюдается общая тенденция роста прочности при сжатии образцов. Так прочность образцов с содержанием талька 3% составляет 25.67 МПа, а при дальнейшем увеличении его содержание до 7% способствовали росту прочности

образцов до 31,26 МПа. Следует отметить, повышение прочностных показателей образцов сопровождается увеличением огневой усадки и показателей морозостойкости, что свидетельствует о повышении степени спекаемости керамической композиции. Об этом свидетельствует и увеличение показателей средней плотности, и снижение водопоглощения термообработанных образцов. Анализ показывает что увеличение содержания тальковой породы только до 7% повышает показателей огневой усадки от 2,6% до 3,8% т.е. почти на 1,5 раза.

Результаты рентгенофазового анализа также показывают, что обожженного 1000⁰С уже практически отсутствуют линии глинистых минералов и увеличивается интенсивность дифракционных максимумов высокотемпературных фаз - авгита и санидина, существенно снижается интенсивность дифракционных максимумов кварца, исчезает кальцит, тальк. При введении 5% талька на рентгенограмме образца, при обжиге 1000⁰С, количество санидина начинает увеличиваться, появляется еще дополнительная высокотемпературная фаза – акерманит. (Рис.25)



а - содержание талька 2%; б – то же 3%; в – то же 5%; г – то же 7%
Рисунок 25 -Микроструктура керамических композиции глина - тальковая порода

Для подтверждения лабораторных исследований на практике нами были отформованы керамические брусчатки на производственной установке «Мастек-Метеор», работающих по принципу вибропрессования. Керамическая масса хорошо формовались и обладали хорошей сырцовый прочностью, что обеспечивает достаточные условия для дальнейших технологических операции готовой продукции. Отформованные брусчатки сушились в сушильном шкафу марки ШСП – 0,5 – 70 при температуре 70-75 0 С по специально разработанному режиму до остаточной влажности 5-7%. После сушки брусчатки обжигались в электрической печи при

температуре 1000°C с выдержкой при конечной температуре 2 часа. Обожженные брусчатki охлаждались при отключенной печи до комнатной температуры (рис. 26). Полученные образцы имели четкие грани и плотно спеченную структуру. Однако образцы имели незначительные трещины, что легко устраняемые путем регулирования режима сушки и обжига керамического сырца.



Рисунок 26 - Образцы керамических брусчаток на основе сырьевой композиции глина – тальковая порода

Выводы по разделу 3.4.3

1. По результатам изучения физико-механических и химико-минералогических характеристик сырьевых материалов предложена сырьевая композиция на основе глины для создания технологии керамической брусчатki методом вибропрессования с использованием тальковой породы.

2. Исследованы составы керамических композиций для получения керамической брусчатki с учетом доминирующих факторов двухкомпонентной смеси для улучшения формовочных, сушильных и физико-механических свойств готовой продукции.

3. Установлено, что введение талька в керамическую композицию способствует образованию высокотемпературных фаз авгита и амфибола, и усилению процессов минералообразования в глине, с образованием высокотемпературных фаз - санидина, акерманита и авгита, обеспечивающих образцам высокие физико-механические свойства.

4. Изучены основные закономерности структуро- и фазообразования керамических композиций температуре обжига 1000°C, заключающихся в протекании процессов твердо- и твердожидкофазного спекания при котором обеспечивается фазово-минеральный состав композиций, определяющие получение керамической брусчатki с высокой прочностью, морозостойкостью.

5. Доказано возможность получения керамической брусчатki, отвечающие экологическим и эксплуатационным требованиям в целях использования их в благоустройстве городских территорий (тротуары, аллеи, парковые зоны, детские площадки и т.п.)

4. ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА КЕРАМИЧЕСКОЙ БРУСЧАТКИ НА ОСНОВЕ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИИ

4.1 Разработка оптимальных технологических параметров на стадии подготовки керамических композиции

4.1.1 Разработка оптимальных технологических параметров при вибропрессовании керамических композиции и изучение физико-механических свойств отформованных сырцовых керамических брусчаток.

Структурообразование керамических материалов начинается на стадии формования [153].

Принципиально существует три категории способов формования:

а) Керамическая масса переводится в жидкое состояние и формируется литьем;

б) Пластическое формование, при котором масса должна обладать значительной пластичностью и соответствующей консистенцией;

в) Полусухим прессованием формуются керамические массы с низким содержанием воды.

Основным требованием для всех способов формования является однородность изделия, которая определяет поведение отформованных изделий при сушке, обжиге и физико-химические свойства конечного продукта.

Для определения закономерности изменения физико - механических свойств сырцовых брусчаток от продолжительности вибрирования на основе исследуемых составов были отформованы сырцовые брусчатки на виброформовочном комплексе «Мастек-Метеор».

Исследование проводились в области продолжительности вибропрессования 6, 9 и 12 секунда.

Результаты проведенных научно-экспериментальных работ приведены таблицах 20-22.

Таблица 20 - Физико-механические свойства сырцовых керамических брусчаток при продолжительности вибропрессования 6 секунд

№ Сос тавов	Содержание компонентов, %		Формо вочная влажность, %	Коэффициент чувствитель ности к сушке	Средняя плотность, г/см ³	Сырцовая прочность, МПа	Воздуш ная усадка, %
	Суглинок	бентони т					
1	93,0	7,0	15,6	1,32	1,897	5,9	2,7
2	95,0	5,0	14,5	1,31	1,824	4,1	2,1
3	90,0	10,0	16,8	1,38	2,211	6,3	2,9
4	85,0	15,0	18,4	1,45	2,223	6,8	3,3

Таблица 21 - Физико-механические свойства сырцовых керамических брусчаток при продолжительности вибриропрессования 9 секунд

№ Соста вов	Содержание компонентов, %		Формовочная влажность, %	Коэффициент чувствительности к сушке	Средняя плотность, г/см ³	Сырцовая прочность, МПа	Воздушная усадка, %
	Суглинок	бентонит					
1	93,0	7,0	15,6	1,29	1,987	6,3	2,5
2	95,0	5,0	14,5	1,39	1,925	4,3	1,9
3	90,0	10,0	16,8	1,41	2,221	6,8	2,7
4	85,0	15,0	18,4	1,49	2,284	7,9	3,1

Таблица 22 - Физико-механические свойства сырцовых керамических брусчаток при продолжительности вибриропрессования 12 секунд

№ Составов	Содержание компонентов, %		Формовочная влажность, %	Коэффициент чувствительности к сушке	Средняя плотность, г/см ³	Сырцовая прочность, МПа	Воздушная усадка, %
	Суглинок	бентонит					
1	93,0	7,0	15,6	1,32	2,197	6,7	2,1
2	95,0	5,0	14,5	1,43	1,979	4,8	1,7
3	90,0	10,0	16,8	1,46	2,262	7,1	2,3
4	85,0	15,0	18,4	1,52	2,320	8,2	2,9

Как показывает результаты проведенных экспериментальных работ закономерность изменения средней плотности сырцовых образцов зависит не только от продолжительности вибропрессования, но и от содержания бентонитовой глины. Так при продолжительности вибрирования 6 сек. средняя плотность при содержании бентонитовой глины 5,0% составляет 4,1 МПа. Тогда как при этой же продолжительности вибриропрессования средняя плотность сырцовой брусчатки с содержанием бентонитовой глины 15% составляет 2,223 г/см³. Самая максимальная средняя плотность сырцовых брусчаток наблюдается при продолжительности вибропрессования 12 сек. с содержанием бентонитовой глины 15% и составляет 2,320 МПа.

Следует отметить, что с увеличением продолжительности вибропрессования и содержания бентонитовой глины увеличивается и коэффициент чувствительности к сушке. Так увеличение коэффициента чувствительности к сушке при продолжительности вибропрессования 12 сек. с содержанием бентонитовой глины от 5,0 до 15% составляет от 1,43 до 1,52.

Такая закономерность вероятно связано с увеличением средней плотности сырцовых брусчаток и содержания бентонитовой глины. По-видимому, удаление влаги затруднено из за более уплотненных сырцовых брусчаток.

Следует отметить, что увеличение продолжительности вибропрессования способствует значительному росту сырцової прочности брусчаток, что может служить гарантом высоких прочностных показателей конечного продукта. В исследуемых составах самая высокая сырцової прочность образцов наблюдается, при продолжительности вибропрессования 12 сек. с содержанием бентонитовой глины 15% и составляет 8,2 МПа.

4.1.2 Разработка рационального режима сушки обжига изделий

Для установления зависимости температуры теплоносителя на динамику процесса сушки было выбрано следующее значение температур: 50, 70, 90°C. Скорость движения теплоносителя принимали равным $V = 1,0$ м/сек.

По результатам испытаний построены кривые сушки.

При анализе кривых сушки установлено, что для состава № 1 (мас.% суглинок – 97, бентонит- 7) время сушки при $T=50^{\circ}\text{C}$ составляет 4,5 часа, а при увеличении температуры теплоносителя до 75°C срок сушки составляет 3,5 часа. При максимальной температуре теплоносителя ($T=90^{\circ}\text{C}$) продолжительность сушки сокращается до 3,0 часов (рис.27).

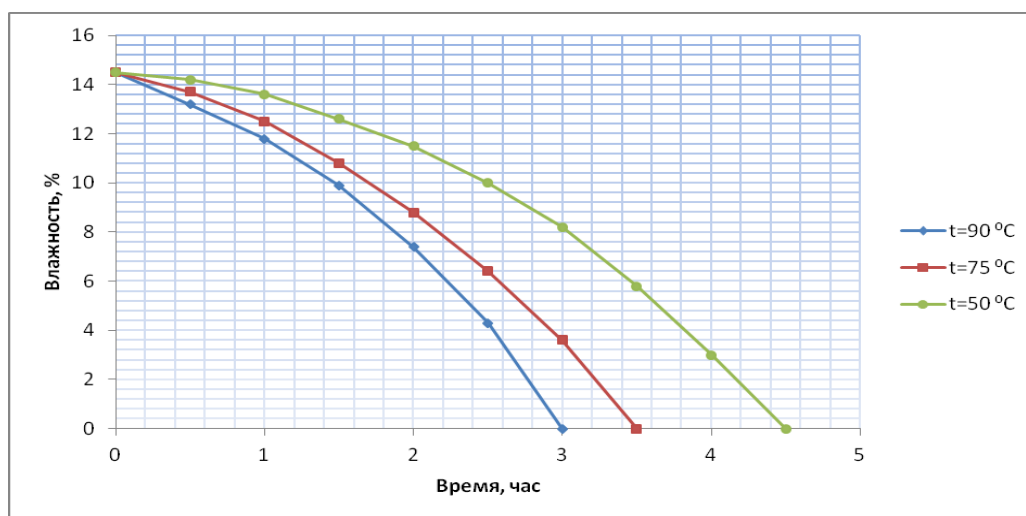


Рисунок 27 – Зависимость продолжительности сушки от температуры теплоносителя при формовочной влажности 14,5% (состав, мас.% суглинок-93,0, бентонит-7,0)

При анализе кривых сушки состава № 2 установлено, что (мас.% суглинок – 95,0 бентонит- 5,0) время сушки при $T=50^{\circ}\text{C}$ составляет 4,7 часа, а при увеличении температуры теплоносителя до 75°C срок сушки составляет 3,8 часа. При максимальной температуре теплоносителя ($T=90^{\circ}\text{C}$) продолжительность сушки составляет 3,3 часов (рис.28)

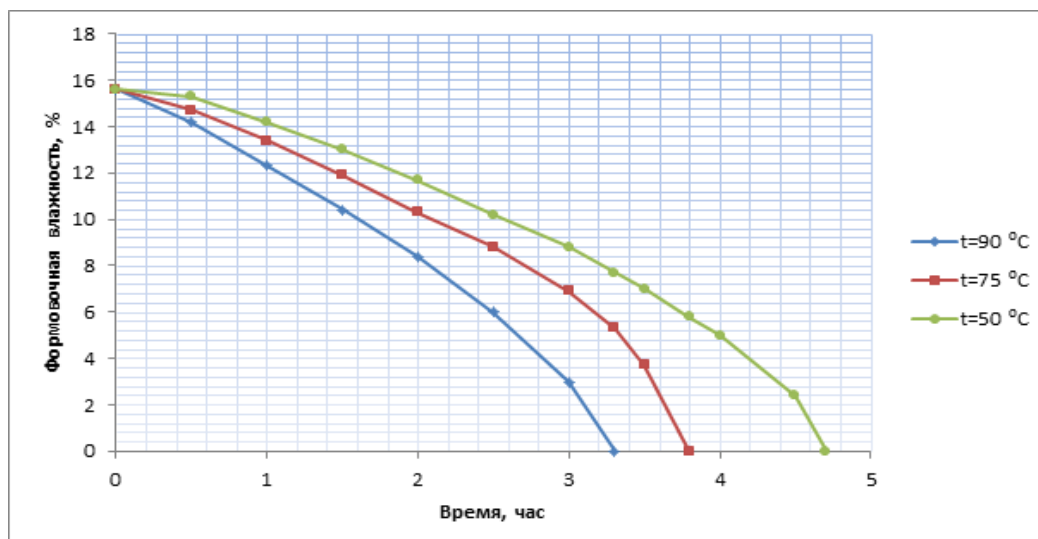


Рисунок 28 – Зависимость продолжительности сушки от температуры теплоносителя при формовочной влажности 15,6% (состав № 2 мас.% суглинок - 95,0, бентонит -5,0)

При анализе кривых сушки состава № 3 установлено, что (мас.% суглинок – 90,0 бентонит- 10,0) время сушки при $T=50^{\circ}\text{C}$ составляет 5,0 часа, а при увеличении температуры теплоносителя до 75°C срок сушки составляет 4,2 часа. При максимальной температуре теплоносителя ($T=90^{\circ}\text{C}$) продолжительность сушки составляет 3,8 часов (рис.29).

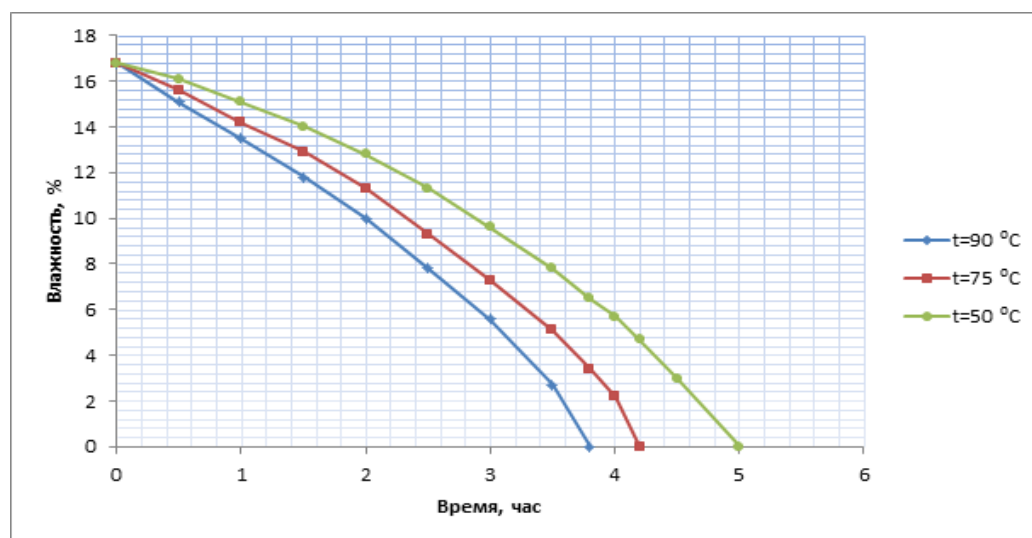


Рисунок 29– Зависимость продолжительности сушки от температуры теплоносителя при формовочной влажности 16,8% (состав № 3 мас.% суглинок - 90,0, бентонит -10,0)

При анализе кривых сушки состава №4 установлено, что (мас.% суглинок – 85,0 бентонит- 15,0) время сушки при $T=50^{\circ}\text{C}$ составляет 5,5 часа, а при увеличении температуры теплоносителя до 75°C срок сушки

составляет 4,7 часа. При максимальной температуре теплоносителя ($T=90^{\circ}\text{C}$) продолжительность сушки составляет 4,0 часов (рис.30).

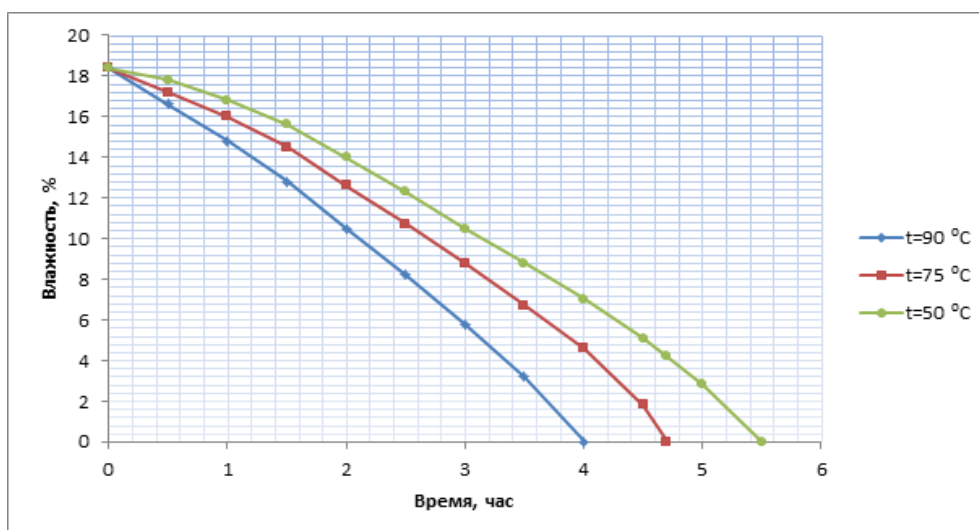


Рисунок 30– Зависимость продолжительности сушки от температуры теплоносителя при формовочной влажности 18,4 (состав №4 мас.% суглинок - 85,0, бентонит -15,0)

Таким образом, в рассматриваемых составах основными факторами влияющие на продолжительность сушки влияют показатели формовочной влажности и содержание бентонитовой глины. В целом с повышением температуры теплоносителя от 50°C до 90°C во рассматриваемых составах наблюдается снижение продолжительности сушки до 1,5 часа. Следует отметить, что несмотря на повышение температуры теплоносителя до 90°C четко прослеживается влияние содержания бентонитовой глины на продолжительность сушки. Например у составе №1 с содержанием бентонитовой глины 7,0% продолжительность сушки при температуре теплоносителя 90°C продолжительность сушки составляет 3,0 часа тогда как у состава №4 с содержанием бентонитовой глины 15,% продолжительность сушки составляет 4,0 часа. Указанная закономерность объясняется специфическими свойствами бентонитовой глины, отличающиеся высокой пластичностью и водопотребностью

Комплексные научно-экспериментальные исследования, полученные на стадии формования, сушки приводит к объективной необходимости оптимизации составов керамических масс для достижения конкретных технологических параметров производства керамических брусчаток методом вибропресования.

Анализируя полученные результаты исследования в качестве оптимальных составов выбрали исходя из высоких показателей дообжиговых, формовочных, сушильных и обжиговых свойств керамических образцов. Таким критериям отвечают составы керамических

масс ограниченных следующими предельными концентрациями компонентов, мас. %: суглинок 85,0-90,0, бентонит 10,0-15,0.

С целью определения параметров обжига в лабораторных условиях формовались стандартные брусчатки оптимального состава прямоугольной формы на вибропрессе «Мастек - Метеор». Продолжительность вибрирования принимали 9 секунд так как именно при такой продолжительности обеспечиваются требуемые дообжиговые свойства керамических брусчаток.



Рисунок 31 - Формовочный комплекс «Мастек-Метеор»



Рисунок 32 - Общий вид отформованных сырцовых керамических брусчаток на формовочном комплексе «Мастек-Метеор»

Изделия обжигались без предварительной сушки в электрической муфельной печи марки (рис 33).



Рисунок 33– Фрагменты обжига керамической брусчатки в электрической муфельной печи

В начальной период отформованные сырцы подвергались подсушке непосредственно в печи обжига согласно кривых сушки

Начальную температуру теплоносителя принимали для обеих систем 50°C и поднимали температуру до 200°C со скоростью подъема температур, в - 50°C в час. Продолжительность подсушки изделий составила 4 часа

Обжиг изделий до 800°C производился со скоростью подъема температур, 120°C в час так, как этот температурный участок является менее опасным в виду отсутствия каких-либо особых структурных изменений.

Дальнейший обжиг изделий до температуры 1100°C согласно расчету при более медленном подъеме температур, 100°C в час т.к. в массах происходят основные фазовые превращения, процессы спекания, кристаллизация, полиморфные превращения, которые вызывают объемные изменения в изделиях.

Оптимальную температуру обжига и продолжительность выдержки определяли по однородности спекания в изломе изделий и соотношению кристаллических и стеклофаз, обеспечивающих требуемые показатели физико-механических свойств готового продукта.

Однородный спек изделий достигаются при продолжительности выдержки - 1,0 час. Максимальная температура обжига составляло 1100°C.

Режим охлаждения изделий подбирали экспериментальным путем и принимали 110°C в час. При этом общая продолжительность обжига составила 23 часа

На рис.34 представлен температурный режим обжига керамических брусчаток.

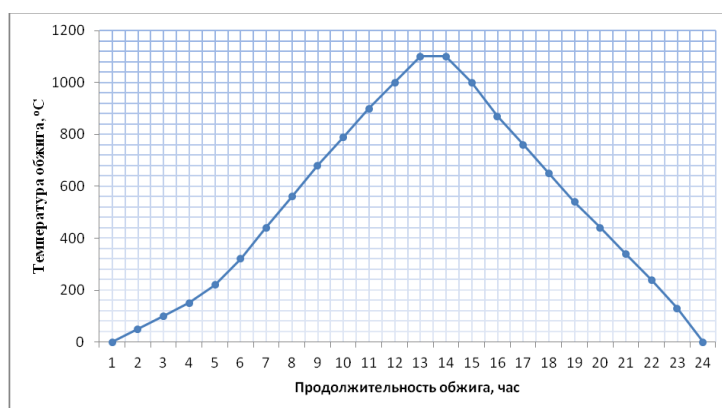


Рисунок 34 - Температурный режим обжига керамических брусчаток отформованных вибропрессованием

Исследование технологических параметров позволили разрабатывать технологию получения керамических брусчаток методом вибропрессования (рис.34).

Согласно этой технологии процесс производства включает следующие операции.

Сырьевые материалы из карьеров транспортируется автосамосвалами и выгружаются в склад сырья.

Суглинок и бентонитовая глины складывают под навесом с последующей подачей на первичное дробление. При этом до первичного дробления сырьевые материалы проходят через камневые валки. При этом суглинок подвергается дроблению с помощью валковых дробилок с зазорами между валками менее 1,0мм а бентонитовая глина с помощью зубчатых дробилок на куски размером 20-30 мм.

Дробленные суглинок и бентонитовая глина направляются на приемные бункера, снабженные системами подачи на последующие операции.

Из приемных бункеров сырьевые материалы дозируются с помощью весовых дозаторов и с помощью ленточных конвейеров подается в двухвальную смеситель. В двухвальную смеситель одновременно подается вода.

На этой стадии происходит интенсивное перемешивание керамической массы с добавлением воды.

Из двухвального смесителя увлажненная сырьевая смесь подается на второе перемешивание с помощью бегунковых смесителей, где происходит активное перетирание сырьевой смеси до гомогенного состояния. После бегункового смесителя керамическая масса с помощью транспортера подается на вибропрессования.

Отформованный сырец с помощью автомата укладчика перекладывается на обжиговые вагонетки и рельсовыми путями без предварительной сушки подается на обжиг. Обжиг производится согласно разработанному режиму (рис.35).

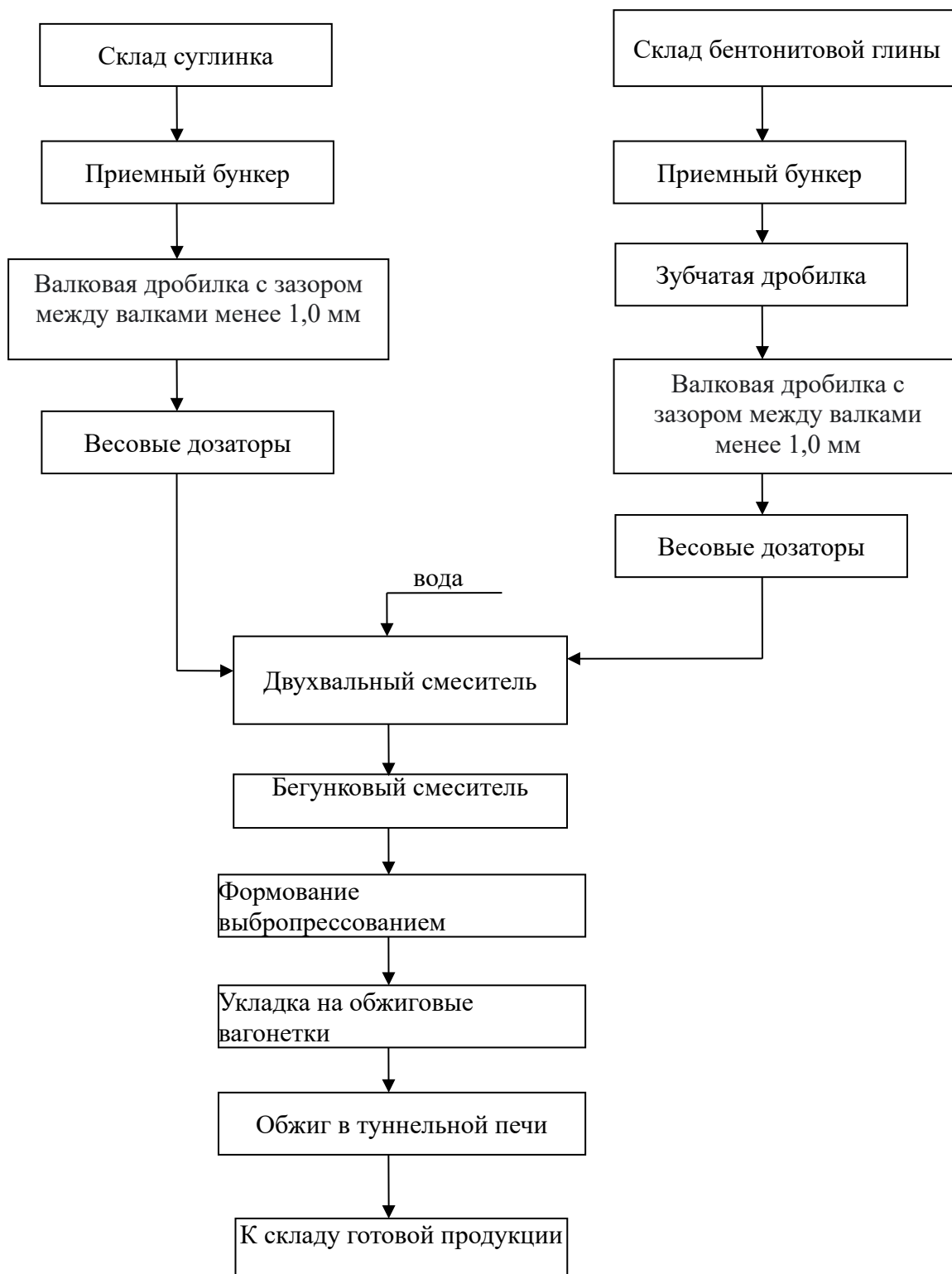


Рисунок 35- Технологическая схема производства керамической брусчатки методом вибропрессования в сырьевой системе суглинок- бентонитовая глина

Технология производства керамической брусчатки методом вибропрессования при использовании модифицирующих добавок и интенсификаторов спекания и кристаллизации отличается только предварительной подготовкой используемых добавок путем измельчения и помола. Склад суглинка и с пом. Склад бентонитовой глины, ватос. Склад добавок. В подаются прямо в двухвальный проц как в системе суглинок – бентонит (рис.36)

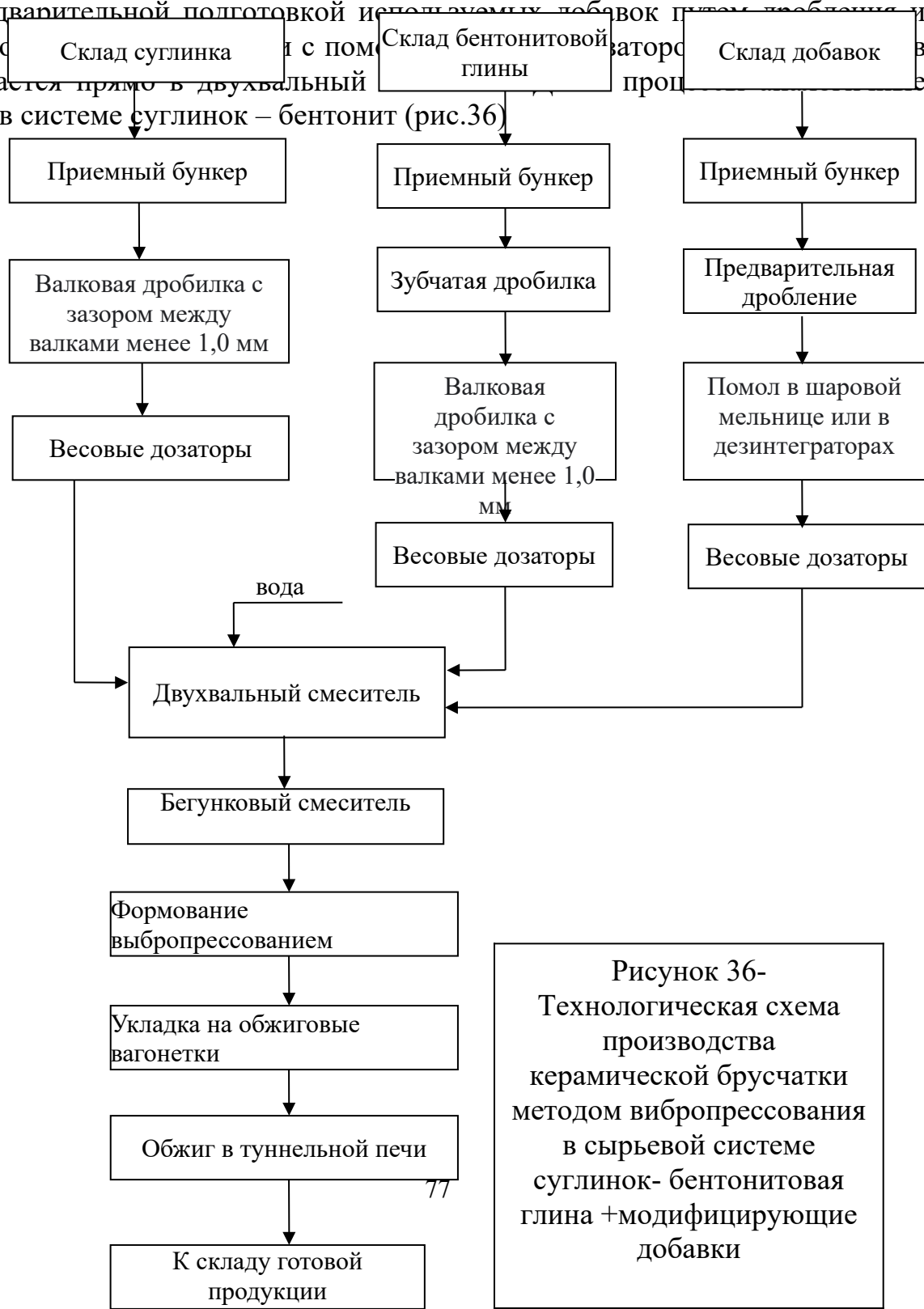


Рисунок 36- Технологическая схема производства керамической брусчатки методом вибропрессования в сырьевой системе суглинок- бентонитовая глина +модифицирующие добавки

5. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ ИСПЫТАНИЕ И ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВИБРОПРЕССОВАНИЯ ПРИМЕНительно К ПРОИЗВОДСТВУ КЕРАМИЧЕСКИХ БРУСЧАТОК НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТАННЫХ СОСТАВОВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАСС И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

5.1 Опытнo - промышленное освоение технологии вибропрессования на основе разработанных составов керамических композиций

Опытнo-промышленное освоение технологии производства керамических брусчаток производились на базе ТОО «ИННОТЕХПРОЕКТ»

Сначала сырьевые материалы в виде суглинка и бентонитовой глины подвергались предварительному дроблению с помощью щековой дробилки. После предварительного дробления суглинков и бентонитовая глина подвергались помолу в шаровой мельнице марки до полного прохождения через сито 1,0мм. Параллельно по этой технологии были подготовлены модифицирующие добавки и инициаторы спекания и кристаллизации(ИСК).

Приготовленные сырьевые смеси дозировались с помощью весов согласно разработанных оптимальных составов и тщательно перемешивались с добавлением воды до гомогенного состояния. Содержание воды соответствовало формовочной влажности сырьевой смеси (рис. 37).

Готовая смесь подавалась в мешалку формовочного комплекса «Мастек-Метеор» для вибропрессования. После повторного перемешивания на мешалке вибропресса смесь подавалась на прессования. Продолжительность вибрирования составляла 9-12 сек. (рис. 37)



Рисунок 37 - Отформованные образцы методом вибропрессования сырьевые керамические брусчатки

Отформованные сырьевые керамические образцы обжигались в камерной электрической печи марки (рис. 38).



Рисунок 38- Камерная печь марки с выдвижным подом

Обжиг производили согласно разработанному режиму обжига. Охлаждение изделий производилась в отключенной печи до комнатной температуры.

Готовые обожженные керамические брусчатки (рис.39) подвергались физико-механическим испытаниям (табл.22).



Рисунок 39 - Общий вид обожженных керамических брусчаток отформованных вибропрессованием

Таблица 22- Физико-механические свойства керамических брусчаток отформованных вибропрессованием

№п/п	Наименование сырьевой системы	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность, МПа		Водопоглощение, %	Морозостойкость, циклы	Истираемость г/см ²	Химическая стойкость	
			при сжатии	при изгибе				к НС1	к Н ₂ SO ₄
1	Суглинок-бентонит	2120,5	34,3	4,2	7,8	55	0,6	96,8	95,6
2	Суглинок-бентонит+модифицирующая добавка	2180,2	36,4	4,7	6,7	62	0,5	97,5	95,8
3	Суглинок-бентонит+инициаторы спекания и кристаллизации (ИСК)	2212,5	37,2	5,2	5,4	более 70	0,4	99,4	98,3

Анализ полученных физико-механических свойств керамических брусчаток показали, что готовые продукции обладают повышенными прочностными показателями соответствующие марке М 300 (ГОСТ 530-2012), низкими показателями водопоглощения (не более 8%), высокими показателями морозостойкости (более 50 циклов ГОСТ 7025-91), относительно низкими показателями истираемостью (не более 0,6 г/см²). При этом керамические брусчатки обладают высокой средней плотностью (2120,5 – 2212,5 кг/м³) и обладают высокой химической стойкостью по отношению к НС1(96,8-99,4) и к Н₂SO₄ (95,6-98,3)

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В результате глубокого литературного анализ установлено, что в настоящее время исследования отечественных ученых по разработке технологии производства керамических брусчаток методом вибропрессования весьма ограничены.

2. Вместе с тем установлено, что в развитых странах мира керамические брусчатки - это материалы, которые обеспечивают износостойкость поверхности автомагистралей, а также улиц, тротуаров, пешеходных дорожек, внутренних дворики и других аналогичных объектов. Отмечается, что они просты в установке и ремонте и позволяют поверхностным водам просачиваться через стыки между блоками, что позволяет воде фильтроваться и просачиваться в нижележащий грунт, чтобы уменьшить отрицательное воздействие воды.

3. Зарубежные ученые в своих исследованиях оценили экологические аспекты различных типов дорожных покрытий, для которых наиболее изучено их влияние на температуру окружающей среды. В этом аспекте, по сравнению с бетонной брусчаткой, керамические брусчатки способствуют более низкой температуре поверхности, что снижает «островное тепло» городских территорий.

4. Установлено, что для получения керамической массы с хорошей спекаемостью необходимо использовать бентонит совместно с суглинком.

5. Исследованы составы керамических масс на основе суглинка с добавлением бентонита до 15% с целью получения керамической брусчатки методом вибропрессования. Установлено, что закономерность изменения средней плотности сырцовых образцов зависит не только от

продолжительности вибропрессования, но и от содержания бентонитовой глины. увеличение продолжительности вибропрессования способствует значительному росту сырцовой прочности брусчаток, что может служить гарантом высоких прочностных показателей конечного продукта. В исследуемых составах самая высокая сырцовая прочность образцов наблюдается, при продолжительности вибропрессования 9-12 сек. с содержанием бентонитовой глины 10 -15%.

6. Проведены научно-экспериментальные работы по использованию доменного гранулированного шлака АО «Арселор Миталл Темиртау» для производства керамической брусчатки, в качестве добавки, улучшающие физико-механические свойства изделия на стадии сушки и обжига.

7. Установлены основные закономерности изменения физико-механических свойств образцов керамической брусчатки в зависимости от количества добавки доменного гранулированного шлака при температуре обжига 1000⁰С.

8. Установлено, что увеличение количества добавки доменного гранулированного шлака до 35% переводит керамическую массу в категорию малочувствительных смесей. Это позволяет, производить сушку отформованных образцов в ускоренном темпе без сушильных трещин.

9. Установлено, что с увеличением количества добавки гранулированного шлака до 35% рост прочности образцов при температуре обжига 1000 ⁰С составляет почти в 1,5 раза по сравнению с минимальным содержанием шлака.

10. По результатам рентгенофазового и электронно-микроскопического анализа установлено, что в образцах обожженных при температуре 1000⁰С наблюдается поризованные шлаковые зерна, закристаллизованные низкотемпературной формой волластонита (CaSiO₃). В большой степени закристаллизованных шлаковых зерен наблюдается у образцов составов, где количество доменного гранулированного шлака составляет 30-35%.

11. Доказано, что присутствие волластонита в составе керамической массы играет роль армирующего компонента. Действительно следует отметить, что высокие прочностные показатели достигается в тех составах, где в продуктах обжига наибольшая кристаллизация волластонита.

12. В результате проведенных научно-экспериментальных работ доказано целесообразность производства керамических брусчаток в сырьевой системе суглинок-бентонит - гранулированный доменный шлак отвечающим требованиям качества, эстетичности, экологичности, ресурсо - и энергосбережения.

13. Актуализирована использования малых активизирующих добавок (интенсификаторов спекания и кристаллизации) не только в составе керамических масс для производства специальных керамических

материалов (техническая керамика, огнеупоры и.т.п.) но и для традиционных керамических материалов строительного назначения.

14. Проведены научно-экспериментальные работы по созданию инициаторов спекания и кристаллизации с использованием доменного гранулированного шлака АО «Арселор Миталл Темиртау» и стеклоотходов ТОО «Стеклосервис» для производства керамической брусчатки методом вибропрессования.

15. Установлено, что присутствие тонкодисперсного стеклопорошка (фракции менее 0,1мм) в составе инициаторов спекания кристаллизации способствует раннему появлению жидкой фазы в составе керамической массы, так как температура размягчения стеклопорошка начинается уже при температуре 720-750 °С.

16. Установлено, что увеличение количества инициаторов спекания и кристаллизации 15% переводить керамическую массу в категорию малочувствительных смесей. Это позволяет, производит сушку отформованных образцов в ускоренном темпе без сушильных трещин.

17. Доказано, что присутствие β- волластонита в составе керамической массы играет роль армирующего компонента. Действительно следует отметить, что высокие прочностные показатели достигается в тех составах, где в продуктах обжига наибольшая кристаллизация β- волластонита.

18. В результате проведенных научно-экспериментальных работ доказано целесообразность производства керамических брусчаток методом вибропрессования содержащих инициаторы спекания и кристаллизации.

19. Установлено, что введение талька в керамическую композицию способствует образованию высокотемпературных фаз авгита и амфибола, и усилению процессов минералообразования в глине, с образованием высокотемпературных фаз - санидина, акерманита и авгита, обеспечивающих образцам высокие физико-механические свойства.

20. Изучены основные закономерности структуро- и фазообразования керамических композиций температуре обжига 1000 °С, заключающихся в протекании процессов твердо- и твердожидкофазного спекания при котором обеспечивается фазово-минеральный состав композиций, определяющие получение керамической брусчатки с высокой прочностью, морозостойкостью и химической прочностью.

21. Анализируя полученные результаты исследования в качестве оптимальных составов выбрали исходя из высоких показателей дообжиговых, формовочных, сушильных и обжиговых свойств керамических образцов. Таким критериям отвечают составы керамических масс ограниченных следующими предельными концентрациями компонентов, мас. %: суглинок 85,0-90,0, бентонит 10,0-15,0 с продолжительностью вибропрессования 9-12 сек.

Список использованных источников

1. Tiles and Bricks Europe. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tiles-bricks.eu/en/home> (дата обращения: 13.08.2019)
2. POROTON. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.poroton.org/index.php?page=410> (дата обращения: 10.07.2019)
3. Жиронкин П.В. История и перспективы промышленности керамических строительных материалов в России / П.В. Жиронкин, В.Н. Геращенко // Строительные материалы. – 2012. – № 5. – С. 13-18.
4. Соломатов В.И. Полимерные композиционные материалы в строительстве / В.И. Соломатов, А.Н. Бобрышев, К.Г. Химмлер. – М.: Стройиздат, 1988. – 308 с.
5. Cho J., Boccaccini A.R., Shaffer M.S.P. Ceramic matrix composites containing carbon nanotubes // Journal Mater Science. 2009, 44, pp. 1934–1951.
6. Rana A.K., Rana S.B., Kumari A., Kiran V. Significance of nanotechnology in construction engineering // International Journal of Recent Trends in Engineering. 2009, 1(4), pp. 46–48.
7. Korzhenko A., Havel M., Gaillard P., Yakovlev G.I., Pervuchin G.N., Oreshkin D.V. 2012. Procédé D'introduction de nanocharges carbonees dans un inorganique durcissable, Patent № 2 969 143. C 04 B 16/12 (2012.01), C 04 B 28/00. Bulletin 12/25 pub. 22.06.12.

8. СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Система нормативных документов в строительстве. - 2003. - 27 с.
9. Микульский В.Г. Строительные материалы / В.Г.Микульский, Г.И. Горчаков, В.В. Козлов и др. // - М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2000.-С. 124-126.
10. Салахов А.М. Керамика вокруг нас / А.М. Салахов, Р.А. Салахова // — М.: РИФ «Стройматериалы», 2008. - 156 с.
11. Абдрахимов В.З. Производство керамических изделий на основе отходов цветной металлургии и энергетики. Усть-Каменогорск: Восточно-Казахстанский технический университет, 1997. - 290 с.
12. Дистанов У.Г. Кремнистые породы СССР. - Татарское книжное издательство, 1976. - 411 с.
13. Зезин В.Г., Кирюшечкина Л.И. Эффективность применения в строительстве теплоизоляционных материалов / В.Г. Зезин, Л.И. Кирюшечкина //- М.: Стройиздат, 1974. - 169 с.
14. Пат. 2257 РК. Способ изготовления керамического кирпича / Гарифулин В.М., Наумагамбетов М.С.; опубл. 15.09.95, Бюл. № 3.
15. Пат. 2165909 РФ. Керамическая масса / Мадоян А.А., Нубарьян А.В., Ратькова В.П., Яценко Н.Д.; опубл. 27.04.01, Бюл. № 5.
16. Пат. 13022 РК. Сырьевая смесь для изготовления керамического кирпича способом полусухого прессования /Сайбулатов С.С., Диловаров Р.А., Сайбулатов С.Ж.; опубл. 15.05.2003, Бюл. № 5.
17. Завадский, В. Ф. Особенности формирования прочной структуры шихт на основе суглинков и шлака в процессе обжига и остывания черепка //Известия Вузов. Строительство и архитектура. - 1985. - №3. - С. 68 - 71.
18. Бурлаков Г.С., Петров В.П., Кабатова М.А. Производство стеновой керамики на основе низкокачественных суглинков и промышленных отходов предприятий Ростовской области //Промышленность строительных материалов. Сер.11. Использование отходов, попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. Охрана окружающей среды. отечественный опыт: экспресс-информ. - М.: ВНИИЭСМ, 1988.- Вып.2.- С. 1-12.
19. Устьянова В.Б., Лобанов Б.В., Кузьмович В.В. Подбор состава сырьевой смеси для двухслойного лицевого кирпича //Строительные материалы.- 1980.- №3.- С.15-16.
20. Габидуллин, М.Г. Взаимосвязь структуры и теплофизических свойств керамики //Строительные материалы. - 2005. - № 9. -С. 62 - 65.
21. Соколов, В. И. Свойства прессованных обожженных изделий из тальк-хлоритовых сланцев //Строительные материалы. - 1997. - № 8. - С. 26 - 27.
22. Семин, М.А. Золоы и шлаки ТЭС - ценное сырье для силикатной отрасли / М. А. Семин, С. Д. Джумагулов //Стекло и керамика. - 2003.- № 8.- С. 22 - 23.

23. Лемешев В.Г., Губин И.К. Утилизация отходов угледобычи в технологии производства керамических материалов //Стекло и керамика. - 2004. - №9.- С. 30-32.
24. Гудков Ю.В. Работы по строительной керамике и искусственным пористым заполнителям вчера и сегодня //Строительные материалы. - 2005. - №9. - С. 54-56.
25. Пат. 13022 РК. Сырьевая смесь для изготовления керамического кирпича способом полусухого прессования /Сайбулатов С.С., Диловаров Р.А., Сайбулатов С.Ж.; опубл. 15.05.2003, Бюл. № 5.
26. Хюльзенберг Д., Крюгер Х. Г. и др. Механизация процессов формования керамических изделий. М.: Стройиздат, 1984. 263с.
27. Ребиндер П. А. Вязкость дисперсных систем и структурообразования //Вязкость жидкостей и коллоидных растворов. / Изд-во АН. СССР. Т.1. 1941. с. 361-378.
- 28.Серб-Сербина Н. Н. Структурообразование в водных суспензиях бентонитовых глин. // Коллоидный журнал. Т. 9. № 5. 1947. с. 381-405.
29. И. А. Альперович, П. И. Беренштейн Г. С. Блок. О применений метода погружения конуса по принципу П. А. Ребиндера для исследования глины // Стекло и керамика, 1953, № 8. -с. 22-25.
- 30.И. М. Горкова. Исследование глинистых пород при помощи конического пластометра. // Коллоидный журнал, 1956, №1. -с. 26-30.
- 31.С. П. Ничипоренко. Пути улучшения качества обработки пластических глиняных масс, // Сб. трудов. Новое в строительной технике и строительные материалы. АН. УССР, 1963, вып. 4. -с. 50-55.
32. Попильский Р. Я., Пивинский Ю. Е. Прессование порошковых керамических масс. М.: Металлургия, 1983. 175 с.
33. Шербань Н. И. Теория и практика прессования порошков. Киев: Науково думка, 1975. 110 с.
34. Кингери У. Дж. Процессы керамического производства. М.:Иностранная литература, 1960. 214 с.
35. Перцев В Т, Усачев С М Вибрационное формирование структуры бетона в условиях дополнительных статических нагрузок // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии сб матер IV междунар науч -техн конф ТулГУ - Тула, 2003 - С 82-83
36. Перцев В Т, Усачев С М Формирование структуры дисперсно-зернистых систем в условиях вибрационного и прессующего воздействий // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии сб матер V междунар науч-техн конф ТулГУ - Тула, 2004 - С 62-63
37. Перцев В.Т., Крылова А.В. , Усачев С.М., Гончарова Н.С. Исследование плотных упаковок дисперсно-зернистых систем // Актуальные проблемы строительства и строительной индустрии сб матер V междунар науч -техн конф ТулГУ - Тула, 2004 - С 61-62

38. Усачев С.М., Леденев А.А., Птицына А.В., Перцев В.Т. Влажностный фактор в структурообразующих процессах дисперсно-зернистых систем // Актуальные проблемы современной науки Секция Архитектура Строительство труды 1-го междунар форума - Самара, 2005 - С 54-56

39. Усачев С.М., Перцев В. Т. Формирование структуры дисперсно-зернистых систем в условиях внешних воздействий // Фракталы и прикладная синергетика труды четвертого междунар междисциплинар симпозиума - М, 2005 - С 241.

40. Сайбулатов С.Ж., Сулейменов С.Т., Ралко А.В. Золотокерамические стеновые материалы. Алма-Ата: Наука, 1982. 291 с.

41. Никитина Л. М. Термодинамические параметры и коэффициент масса переноса во влажных материалах. М.-Л. Госэнергоиздат. 1963, с. 500.

42. Лыков А. В. О термодиффузии влаги. // Журнал прикладной химии, 1935, т. 8, с. 19.

43. Цимерманис Л. Б. Термодинамические и переносные свойства капиллярно-пористых тел. Челябинск, Южно-Уральское книжное издательство, 1971, с. 202.

44. Лыков А. В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах. М., Гостехиздат, 1954, с. 206.

45. Носова З. А. Чувствительность глин к сушке. М., Гидрометеиздат, 1946, с. 49.

46. Нохратян К. А. Сушка керамических изделий. М., Профиздат, 1958, с. 240.

47. Морозов В. И. Физические основы пластического формования кирпича. М., Стройиздат, 1973, с. 135.

48. Чижский А. Ф. Механизм и условия возникновения трещин при сушке керамики. // Стекло и керамика, 1949, № 10, с. 15.

49. Лотов, В.А. Взаимосвязь водно-физических, структурно-механических и теплофизических свойств влажных дисперсных материалов / В.А. Лотов // Стекло и керамика, 2000. – № 5. – С. 17-21.

50. Лотов, В.А. Технология материалов на основе силикатных дисперсных систем / В.А. Лотов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2006. – 202 с.

51. Рабухин, А.И. Физическая химия тугоплавких неметаллических и силикатных соединений / А.И. Рабухин, В.Г. Савельев. Учебник. – М. : ИНФРА-М, 2004. – 304 с. – ISBN 5-16-001927-8.

52. Горшков, В.С. Физическая химия силикатов и других тугоплавких соединений / В.С. Горшков, В.Г. Савельев, Н.Ф. Федоров. - М. : Высш.шк., 1988. – 400 с.

53. Белая, Л.А. Совершенствование катализаторов крекинга с применением композиционных материалов на основе монтмориллонита :

дис. канд. хим. наук: 05.17.07 / Белая Лилия Александровна. - Омск, 2009. – 145 с.

54.Скрипников, А.А. Влияние состава шихты на теплофизические свойства керамики : дис. канд. физ.-мат. наук: 01.04.14 / Скрипников Александр Александрович. – Бишкек, 2000. – 149 с.

55. Гольдберг, В.М. Проницаемость и фильтрация в глинах / В.М. Гольдберг, Н.П. Скворцов. – М. : Недра, 1986 – 160 с.

56.Андриевский, Р.А. Порошковое материаловедение / Р.А. Андриевский. – М. : Металлургия, 1991. – 205 с.

57.Тихи, Ю. Обжиг керамики / Ю. Тихи. - М. : Стройиздат, 1988. – 344 с.

58.Котляр, Т.А. Влияние карбида кремния на теплофизические и прочностные свойства кремнеземистой керамики : дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.14 / Котляр Татьяна Анатольевна. – Бишкек, 2000. – 144 с.

59. Гегузин Я. Е. Физика спекания. М. : Наука, 1967. – 360 с.

60.Физическая химия силикатов / Под ред. А.А. Пащенко. – М.: Высшая школа, 1986. – 397 с.

61.Шиманский, А.Ф. Физическая химия композиционных и керамических материалов : курс лекций / А.Ф. Шиманский. – Красноярский государственный университет. Химический факультет, 2008. – 57 с.

62. Балкевич, В.Л. Техническая керамика : учеб. пособие для студентов хим.технолог. специальностей / В.Л. Балкевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1984. – 256 с.

63. Winslow, D.N., 1991. Predicting the durability of paving bricks. J. Test. Eval. 19, 29–33.<https://doi.org/10.1520/jte11271j>.

64. Tan, S.A., Fwa, T.F., 1992. Influence of pavement materials on the thermal environment of outdoor spaces. Build. Environ. 27, 289–295. [https://doi.org/10.1016/0360-1323\(92\)90030-S](https://doi.org/10.1016/0360-1323(92)90030-S).

65. Souza, D.M., Lafontaine, M., Charron-Doucet, F., Chappert, B., Kicak, K., Duarte, F., Lima, L., 2016. Comparative life cycle assessment of ceramic brick, concrete brick and cast-in-place reinforced concrete exterior walls. J. Clean. Prod. 137, 70–82. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.069>.

66. ASTM C936, 2018. Standard specification for solid concrete interlocking paving units. Am. Soc. Test. Mater. 04.05, 1–4. <https://doi.org/10.1520/C0936>.

67. ASTM C902, 2015. Standard specification for pedestrian and light traffic paving brick. Am. Soc. Test. Mater. 04.05, 1–4. <https://doi.org/10.1520/C0902-15.2>.

68. ASTM C1272, 2017. Standard specification for heavy vehicular paving brick. Am. Soc. Test. Mater. 04.05, 1–4. <https://doi.org/10.1520/C1272-17>.

69. ASTM C1232, 2017. Standard terminology for masonry. Am. Soc. Test. Mater. 04.05, 1–7. <https://doi.org/10.1520/C1232-17.2>.

70. Ronov, A.B., Yaroshevsky, A.A., 1969. Chemical composition of the earth's crust. In: Hart, Pembroke J. (Ed.), Geophysical Monograph Series -, vol. 3. American Geophysical Union, Washington, p. 21. <https://doi.org/10.1029/gm013p0037>.

71. Rguibi, Y.E.B., Baraka, A. El, Khaldoun, A., 2018. Eco-friendly fired clay bricks. In: 2018 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC). IEEE, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/IRSEC.2018.8702923>.

72. Phillips, G.C., 1991. A concise introduction to ceramics. A Concise Introd. to Ceram. 49, 6221. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-6973-8.1>

73. Shelby, J.E., 2005. Introduction to Glass Science and Technology, Second. The Royal Society of Chemistry, Cambridge.

74. Flood, M., Fennessy, L., Lockrey, S., Avendano, A., Glover, J., Kandare, E., Bhat, T., 2020. Glass Fines: a review of cleaning and up-cycling possibilities. J. Clean. Prod. 267, 121875.

75. Zimmer, A., Bragança, S.R., 2019. A review of waste glass as a raw material for whitewares. J. Environ. Manag. 244, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.038>.

76. Silva, R.V., de Brito, J., Lye, C.Q., Dhir, R.K., 2018. The role of glass waste in the production of ceramic-based products and other applications: a review. J. Clean. Prod. 167, 346–364. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.185>.

77. Zhao, S., Liu, B., Ding, Y., Zhang, J., Wen, Q., Ekberg, C., Zhang, S., 2020. Study on glassceramics made from MSWI fly ash, pickling sludge and waste glass by one-step process. J. Clean. Prod. 271, 122674. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122674>.

78. Barbara Panzenhagen Bohn, Cristiane Von Mühlen, Matheus Felipe Pedrotti, Andre Zimmer. A novel method to produce a ceramic paver recycling waste glass. Cleaner Engineering and Technology 2 (2021) 100043 www.journals.elsevier.com/cleaner-engineering-and-technology.

79. З.Б. Джуманиязов., и др. Дорожная керамическая брусчатка на основе местных лёссовидных пород модифицированный стеклобоя. Технические науки. 2021, 1 (82), 76-79.

80. В.Д. Котляр, Г.А. Козлов, О.И. Животков, К.А. Лапунова Перспективы использования кремнистых опоковидных пород для производства дорожного клинкерного кирпича низкотемпературного спекания. Строительные материалы и изделия. 2018, 4, 13-16. ISSN: 0585-430X eISSN: 2658-6991

81. Sadūnas A. Burning of aluminium silicates in the medium of reductive-oxidizing gas (Aliumosilicatų degimas redukuojančių – oksiduojančių dujų terpėje). Vilnius: VPU. 1999, 188 (in Lithuanian).

82. Petrikaitis F, Žurauskienė R. Influence of material mix processing and formation parameters on the quality of ceramic products. In Proceedings of the international conference «Silicate technology». Kaunas, Technologija. 2000, 101-104. ISBN978-303835001-9
83. V.G. Li, T.H. Yeh. Sintering effects on the development of mechanical properties of fired clay ceramics. Materials Science and Engineering: A. 2008, 485, 5-13. DOI 10.1016/j.msea.2007.07.068
84. C. Mohmoudi, E. Srasra, Ф. Zargouni The use of Tunisian Barremian clay in the traditional ceramic industry: Optimization of ceramic properties. Applied Clay Science. 2008, 42, 125 – 129
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.12.008>
85. Wanda A. Allo, Murray H.H. Mineralogy of clays. Applied Clay Science. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2003.10.003>
86. З.К. Бабаев, Д.Ш. Шарипов, З.Б. Джуманиязов Дорожная керамическая брусчатка на основе лессовых пород узбекистана. Технические науки. 2021, 1 (82), 76-79
87. de Figueirêdo J.M.R., Sousa Silva J.R., de Araújo Neves G., Ferreira H.C., de Lima Santana L.N. Influence of processing variables on clay-based ceramic formulations // Materials Research. 2018, 22. DOI 10.1590/1980-5373-MR-2018-0548
88. Dos Santos L.M., Medeiros V.M.B., Valenzuela M.D.G.D.S., Diaz F.R.V., de Oliveira O.M. Characterization of bentonite beneficiation residue for use in structural ceramics. Minerals, Metals and Materials Series. 2020, Part F1, 459 – 467. DOI 10.1007/978-3-030-36628-5_45
89. F. Andreola, C. Siligardi, T. Manfredini, C. Carbonchi. Rheological behaviour and mechanical properties of porcelain stoneware bodies containing Italian clay added with bentonites. Ceramics International. 2009, 35, Issue 3, 1159-1164. DOI 10.1016/j.ceramint.2008.05.017
90. M. O'Driscoll, Ukraine's mineral. First steps in world market. Ind. Miner. 1998, 21–43.
91. Джуманиязов З.Б., Бабаев З.К., Шарипов Д.Ш. Дорожная керамическая брусчатка на основе местных лессовидных пород модифицированный стеклобоем // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2021. 1(82). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11197> (дата обращения: 24.01.2021).
92. Золотарский А.З. Производство керамического кирпича:- М.: Высш. шк., 1989. - 264 с.
93. Пащенко А.А. Общая технология силикатов. – Киев: Высш. Шк., 1983. - 408 с.
94. Иванов А.С., Евтушенко Е.И. Стеновые керамические материалы с использованием металлургического шлака // Строительные материалы. 2009. № 7. С. 64–65.

95. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Физико-химические процессы структурообразования в керамических материалах на основе отходов цветной металлургии и энергетики. Усть-Каменогорск: Восточно-Казахстанский технический университет, 2000. 374 с.
96. Сулейменов С.Т. Физико-химические процессы структурообразования в строительных материалах из минеральных отходов промышленности. М.: Манускрипт, 1996. 298 с.
97. Рыщенко М.И., Белостоцкая Л.А., Щукина Л.П., Трусова Ю.Д., Павлова Л.В., Галушка Я.О. Утилизация металлургических шлаков в производстве стеновой керамики // Экология и промышленность. 2017. № 2. С. 78–84.
98. Столбоушкин А.Ю., Бердов Г.И., Зоря В.Н., Столбоушкина О.А., Пермяков А.А. Влияние добавки ванадиевого шлака на процессы структурообразования стеновой керамики из техногенного сырья // Строительные материалы. 2014. № 3. С. 73–80.
99. Туева Т.В., Сакова А.А., Бороздина Е.А., Немирова Е.А. Определение оптимального количества гранулированного доменного шлака ОАО «СЕВЕРСТАЛЬ» в составе керамики на основе глин Горбовского месторождения. Инновационное развитие территорий. Международная научно-практическая конференция. Череповец. 2015. С. 30–32.
100. Рыщенко М.И., Белостоцкая Л.А., Щукина Л.П., Трусова Ю.Д., Павлова Л.В., Галушка Я.О. Керамические строительные материалы с использованием шлаковых отходов чугунолитейного производства // Экология и промышленность. 2018. № 2. С. 67–73.
101. Перепелицын В.А., Коротеев В.А., Рывин В.М., Григорьев В.Г., Игнатенко В.Г., Абызов А.Н., Куталов В.Г. Высокоглиноземистые вторичные минеральные ресурсы черной и цветной металлургии // Огнеупоры и техническая керамика. 2011. № 6. С. 42–50.
102. Гусева Ю.О., Сычева Т.С., Моторина Т.С., Сериченко Ю.С., Боброва З.М. Формирование шлаков металлургического передела и основные направления их применения // Теория и технология металлургического производства. 2013. № 1. С. 59–62.
103. Федосеева Г.Р., Салахов А.М., Нафиков Р.М., Хацринов А.И. Влияние карбонатсодержащих пород на свойства керамических материалов // Вестник технологического университета. 2010. Т. 8. С. 225–231.
104. Ковков И.В., Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Физико-химические процессы при различных температурах обжига керамического кирпича на основе бейделлитовой глины, фосфорного шлака и золошлака // Известия Самарского научного центра РАН. 2009. Т. 11. № 5. С. 24–31.

105. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Филатова Е.В., Боляк В.И., Вережкин К.А. Влияние химического и фазового состава на цвет керамического кирпича // Строительные материалы. 2008. № 4. С. 31–33.
106. Зубехин А.П., Яценко Н.Д., Филатова Е.В., Боляк В.И., Вережкин К.А. Керамический кирпич на основе различных глин: фазовый состав и свойства // Строительные материалы. 2010. № 11. С. 47–49.
107. Шильцина А.Д., Верещагин В.И. Влияние шлака ТЭС на спекание, фазовый состав и свойства керамики // Известия вузов: Строительство. 1999. № 10. С. 38–40.
108. Довженко И.Г. Лицевой керамический кирпич светлых тонов с применением отхода черной металлургии // Стекло и керамика. 2011. № 8. С. 11–13.
109. Абдрахимова Е.С. К вопросу об изоморфизме при обжиге глинистых материалов различного химико-минералогического состава // Известия вузов: Строительство. 2008. № 5. С. 28–33.
110. Абдрахимова Е.С., Абдрахимов В.З. Фазовые превращения при обжиге легкоплавких глин // Материаловедение. 2007. № 8. С. 35–41.
111. Шевандо В.В., Шевандо М.П., Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Физико-химические процессы, протекающие при обжиге керамического кирпича с использованием золы ТЭС и карбонатного шлама // Башкирский химический журнал. 2006. Т. 13. № 5. С. 23–29.
112. V.G. Li, T.H. Yeh. Sintering effects on the development of mechanical properties of fired clay ceramics. *Materials Science and Engineering: A*. 2008, 485, 5-13. DOI 10.1016/j.msea.2007.07.068
113. C. Mohmoudi, E. Srasra, Ф. Zargouni The use of Tunisian Barremian clay in the traditional ceramic industry: Optimization of ceramic properties. *Applied Clay Science*. 2008, 42, 125 – 129 <https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.12.008>
114. Wanda A. Allo, Murray H.H. Mineralogy of clays. *Applied Clay Science*. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2003.10.003>
115. З.К. Бабаев, Д.Ш. Шарипов, З.Б. Джуманиязов Дорожная керамическая брусчатка на основе лессовых пород узбекистана. *Технические науки*. 2021, 1 (82), 76-79
116. de Figueirêdo J.M.R., Sousa Silva J.R., de Araújo Neves G., Ferreira H.C., de Lima Santana L.N. Influence of processing variables on clay-based ceramic formulations // *Materials Research*. 2018, 22. DOI 10.1590/1980-5373-MR-2018-0548
117. Dos Santos L.M., Medeiros V.M.B., Valenzuela M.D.G.D.S., Diaz F.R.V., de Oliveira O.M. Characterization of bentonite beneficiation residue for use in structural ceramics. *Minerals, Metals and Materials Series*. 2020, Part F1, 459 – 467. DOI 10.1007/978-3-030-36628-5_45
- 118 F. Andreola, C. Siligardi, T. Manfredini, C. Carbonchi. Rheological behaviour and mechanical properties of porcelain stoneware bodies containing

Italian clay added with bentonites. *Ceramics International*. 2009, 35, Issue 3, 1159-1164. DOI 10.1016/j.ceramint.2008.05.017

119. M. O'Driscoll, Ukraine's mineral. First steps in world market. *Ind. Miner.* 1998, 21–43.

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

121. Мосин Ю.М., Першиков С.А. Трехмерная модель диффузионного спекания керамики // *Неорганические материалы*. 2000. т. 36, №10, с. 1277-1280

122. Першиков С.А., Витко ТЛ. Изучение кинетики спекания порошков стекла различной дисперсности // *Успехи в химии и химической технологии: Тезисы XVI Международной конф. "МКХТ2002"* Москва, 2002. с. 9192.

123. Будников П.П., Гинстлинг А.М. Реакции в смесях твердых веществ. – М.: Стройиздат, 1971. – 488 с.

124. Довженко И.Г. Интенсификация спекания керамического кирпича с применением побочного продукта алюминиевого производства // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 12-2. – С. 341-344; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29085> (дата обращения: 11.08.2022).

125. Гурьева, В.А. Особенности процесса спекания керамических масс, содержащих силикаты магния / В.А Гурьева // *Стекло и керамика*. - М: Ладья. 2008.-№11.-С.26-28.

126. Беляков А.В., Першиков С.А., Сухожак А.Н. Роль углерода при получении прозрачной корундовой керамики по порошковой алкоксотехнологии // *Стекло и керамика* 1999. №9. с.1821.

127. Патент РФ №2117631. Способ получения порошка оксида алюминия для изготовления прозрачной керамики // Беляков А.В., Сухожак А.Н., Першиков С.А., Кузнецов А.И., Расторгуев Ю.И., Гончарик М.М., Павлов Е.В. Выдан 20 августа 1998 г.

128. Гурьева, В.А. Оценка свойств керамических изделий на основе техногенного сырья, содержащего силикаты магния / В.А Гурьева // *Строительные материалы*. - М: ООО РИФ «Строительные материалы». - 2008. - № 12 (648).-С. 46-48.

129. Wang C., Liu J., Du H., Guo A. // *Ceram. Int.* 2012. V. 38. P.4395.

18. Deepthi M.V., Sharma M., Sailaja R.R.N. et al. // *Mater. Design*. 2010. V. 31. P. 2051.

130. Kulkarni M.B., Bambole V.A., Mahanvar P.A. // *J. Thermopl. Comp. Mater.* 2014. V. 27. № 2. P. 251.

131. Sharma J., Chand N. // *Polimer-Plastic Technol. Eng.* 2013. V. 52. P.743.

132. Гурьева, В.А. Влияние оксидов щелочных металлов на процесс спекания магнийсодержащих керамических масс / В.А Гурьева // Техника и технология силикатов. - М: РХТУ. - 2008. - Ха 2. - Т. 15. - С. 16-18.

133. Гурьева, В.А. Особенности формирования кристаллических фаз в керамике на основе техногенного магнийсодержащего сырья / В.А Гурьева // Техника и технология силикатов. - М: РХТУ. - 2008. - № 4. - Т. 15. - С. 19-22.

134. Пивинский Ю.Е. Теоретические аспекты технологии керамики и огнеупоров. Избранные труды. Том 1. – СПб.: Стройиздат СПб, 2003. – 242 с.

135. Горохова, Е.В. Материаловедение и технология керамики. – Мн.: Вышэйшая школа, 2009. – 222 с.

136. Погребенков В.М. Технология тонкой и строительной керамики. Часть 1: учебное пособие. – Томск, ТПУ, 2005. – 109 с.

137. Айрапетов Г.А., Безродный О.К., Жолобов А.Л., Жуков А.В. Строительные материалы – М.: Феникс, 2007. – 620 с.

138. Шишакина О.А., Паламарчук А.А. Применение плавней в производстве керамических материалов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 11. – С. 105-109;

URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12941> (дата обращения: 18.08.2022).

139. Стрелов К.К., Кащеев И.Д. Теоретические основы технологии огнеупорных материалов / Учебное пособие для вузов. 2-е издание, переработанное и дополненное М.: Металлургия, 1996. – 608 с.

140. Вакалова Т.В. Активация процессов синтеза и спекания композиций на основе оксидов в системе «муллит–кордиерит» // Известия вузов. Физика. –2013. –Т. 5 –№.7/2. –С.189-194

141. Вакалова Т.В., Хабас Т.А., Погребенков В.М., Бирюкова А.А. Активация процессов синтеза и спекания композиций муллитокордиеритового состава на основе природного сырья // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 5-3. – С. 379-384; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6791> (дата обращения: 18.08.2022).

142. Khabas T.A., Vereshchagin V.I., Vakalova T.V. Low-Temperature Synthesis of the Cordierite Phase in Ceramic Mixtures of Natural Raw Materials / T.A. Khabas, V.I. Vereshchagin, T.V. Vakalova // Refractories and Industrial Ceramics. –2003. –V. 44. – Issue 3. –P. 181-185.

143. Бакунов, В.С. Особенности технологии высокоплотной технической керамики. Регулирование структуры при спекании / В.С. Бакунов, Е.С. Лукин // Стекло и керамика, 2008. – № 7. – С.17 – 21.

144. Лотов В.А. Контроль процесса формирования структур в технологии керамических и силикатных материалов // Стекло и керамика. – 1999. – №5. – С. 21– 23.
145. Лотов В.А. Взаимосвязь изменений линейных размеров и объемного фазового состава керамики при спекании / В.А. Лотов // Стекло и керамика. – 2005–. №1. – С. 19–22.
146. Sandulyak, A.V. Magnetic separation of raw materials for glass and ceramics production. Aspects of ferrous impurities control / Sandulyak A.V., Sandulyak A.A., Ershov D. V., Sandulyak D. A., Ershova V. A. // Glass and Ceramics, 2012. – №6.
147. Долгорев А. В. Вторичные сырьевые ресурсы в производстве строительных материалов: физико-химический анализ. Справочные пособие. -М. Стройиздат, 1990. - 456 с.
148. Zhigulina A Y, Montaeв S A, Zharylgapov S M 2015 Physical-mechanical properties and structure of wall ceramics with composite additives modifications // Procedia Engineering. Volume 111. С. 896-901.
149. Mezquita A, Monfort E, Ferrer S, Gabaldón-Estevan D 2017 How to reduce energy and water consumption in the preparation of raw materials for ceramic tile manufacturing: Dry versus wet route // Journal of Cleaner Production. Volume 168. С. 1566-1570.
150. Mustafin N R, Aschmarin G D 2006 Die Klinkerkeramik auf Grund des Kieselerderohstoffes und der technogenischen Abfallstoffe "Keramische Zeitschrift" № 46, Pages 80-81
151. Мустафин А В, Ашмарин Г.Д. 2006 Клинкерная керамика на основе кремнеземистого сырья и техногенных отходов // Строительные материалы № 1, С 32-33
152. Шамшуrow А В, Гридчин А М, Лесовик В С, Строкова В В 2003 Сырьевая смесь для получения обжиговых дорожно-строительных материалов на основе кварцевых песков и способ их изготовления // Патент Российской Федерации № 2205810, МПК 7 C04B35/14, 35/16 на изобретение № 16, С 432
153. Хюльзенберг Д., Крюгер Х. Г. и др. Механизация процессов формования керамических изделий. М.: Стройиздат, 1984. 263с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Список опубликованных работ по теме монографии

№	Название трудов	Рукопись или печатные	Наименование издательства, журнала (№, год), № авторского свидетельства	Кол-во печатных листов или страниц	Фамилия авторов
1	2	3	4	5	6
Публикации в международных рецензируемых научных журналах (Scopus и Web of Science)					
1	Sintering and Crystallization Intensifiers for Production of Ceramic Paving Blocks by Vibropressing Technology	печатный	Periodica Polytechnica Civil Engineering, 67(3), pp. 706–715, 2023 https://doi.org/10.3311/PPci.21818 . Engineering Civil and Structural. Scopus проценты по Cite Score 53	9 стр.	Montaev S., Ristavletov R., Dosov K., Montayeva N., Dosaliev K.
2	Use of Granulated Metallurgy Slag in the Raw Mix for Producing Ceramic Paving Stones: Insights from an Experiment in Kazakhstan	печатный	Journal of the International Society for the Study of Vernacular Settlements ISVS e-journal, Vol. 10, Issue 7, July, 2023 https:// isvshome.com/e-journal_10-7.php Arts and Humanities Visual Arts and Performing Arts- 87-й, Arts and Humanities History- 83-й, Arts and Humanities, Conservation- 67-й, Engineering Architecture.	14 стр.	Montaev S., Ristavletov R., Ussenkulov Zh., Dosov K

			Scoups процентиль по Cite Score 59		
Публикации в изданиях, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан					
3	Исследование глинистых сырьевых материалов Туркестанской области для получения керамической брусчатки	печатный	QazBSQAXабаршысы. Құрылыс конструкциялары және материалдары. No1 (83), 2022.с.170-179 DOI 10.51488/1680-080X/2022.1-13	9 стр.	Монтаев С.А., Адилова Н.Б., Риставлетов Р.А., Шакешев Б.Т.
4	The Modified Ceramic Mass for Producing Ceramic Paving Stones	печатный	«Әбілқас Сағыноватындағы Қар ағанды техникалық университеті» Университет ЕҢБЕКТЕРІ 3(88)2022.с.198-203 DOI 10.52209/1609-1825_2022_3_198	5 стр.	Montaev S., Narikov K., Ristavletov R., Mizyuryaev S.
5	Керамикалық төсемдер алу үшін шикізат қоспасын зерттеу	печатный	«ШҚТУ ХАБАРШЫСЫ» №4,2022.с.153-166 DOI 10.51885/1561-4212_2022_4_153	13 стр.	Монтаев С.А., Рязанов А.Н., Риставлетов Р.А., Досов К.Ж., Бегеев Р.Н.
1	2	3	4	5	6
Публикации в сборниках международных конференций					
6	Исследование глинистых пород Южного Казахстана для производства строительных керамических изделий	печатный	«Инновационные технологии переработки минерального и техногенного сырья химической, металлургической, нефтехимической отраслей и производства строительных материалов», Институт общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистана, 12-14 мая Ташкент-2022.с.553-555	3 стр.	Montaev S. A., Ristavletov R.A.
7	Investigation of raw materials for clay-based ceramic paving stones	печатный	Proceeding VIII International Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE – 2021, Volume II M. Auezov South Kazakhstan University Shymkent, Kazakhstan November 10-11, 2021.с.301-305	4 стр.	Montayev S., Ristavletov A.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Фото материалы по проведению научно – экспериментальных работ



Рисунок 1 - Подготовка глинистых компонентов для проведения экспериментальных работ по разработке составов керамических масс



Рисунок 2 - Шаровая мельница с емкостью 300 килограмм для тонкого помола глинистых компонентов



Рисунок 3 - Отформованные сырцы керамических брусчаток методом вибропрессования



Рисунок 4 – Процесс обжига отформованных кермических брусчаток в электрической муфельной печи



Рисунок 5 – Промышленная камерная печь с выдвижным подом для обжига опытно-промышленной партии керамических брусчаток



Рисунок 6 – Обоженные опытно – промышленные образцы керамических брусчаток



Рисунок 7 – Визуальный осмотр автора разработки обожженных опытно – промышленных образцов керамических брусчаток



Рисунок 8 – Загрузка сырьевой смеси в формы мобильной установки «Мастек Метеор» для вибропрессования керамических брусчаток



Рисунок 9 – Общий вид отфомованных сырцов керамических брусчаток



Рисунок 10 – Подготовка к благоустройству территории спорткомплекса ЗКАТУ им. Жангир хана с применением опытно – промышленной партии керамических брусчаток



Рисунок 11 – Процесс благоустройства территории спорткомплекса ЗКАТУ им. Жангир хана с применением опытно – промышленной партии керамических брусчаток



Рисунок 11 – Процесс благоустройства территории учебного корпуса «Индустриально – технологического института» (ИТИ) ЗКАТУ им. Жангир хана с применением опытно – промышленной партии керамических брусчаток (с участием автора разработки доктора технических наук, профессора С.А. Монтаева и студентов 3 курса обучающихся по специальности «Строительство»)

Приложение 3 Резюме автора



№	Атауы/Наименование	Мәлімет/Информация
1	Ғалымның аты-жөні / ФИО ученого	Монтаев Сарсенбек Алиакбарұлы
2	Туған күні, айы, жылы / Дата, месяц, год рождения	15.12.1959
3	Азаматтығы / Гражданство	Казахстан
4	Жұмыс орны / Место работы	ЗКАТУ имени Жангир хана, г. Уральск
5	Лауазымы / Должность	<u>Руководитель Научно-исследовательской лаборатории «Строительных материалов и технологии»</u>
6	Ғылыми дәрежесі және ғылыми атағы / Ученая степень и ученое звание	<u>Доктор технических наук, профессор, Член корреспондент Национальной инженерной академии РК.</u>
7	Ғылыми зерттеу бағыты / Направление научных исследований	Разработка ресурсо-и энергосберегающих технологии производства композиционных материалов многофункционального назначения на основе переработки природного и техногенного сырья Казахстана.
8	Ғылыми-педагогикалық жұмыс өтілі / Научно-педагогический стаж работы	38 лет
9	h-index	15

10	Ғылыми-техникалық бағдарламалар мен жобаларды басқару тәжірибесі / Опыт руководства научно-техническими программами и проектами	Является руководителем инновационных научных проектов грантового финансирования (ГФ) и Программно целевого финансирования (ПЦФ) по темам на 2012-2026 годы в том числе ТОО «Центра коммерциализации технологии МОН РК»: 1. Разработка технологии переработки кремнистых и глинистых пород Республики Казахстан и создание эффективной технологии получения легкого и прочного искусственного щебня на их основе для строительства автомобильных дорог, зданий и сооружений гражданского, промышленного назначения; 2. Технология гранулированного пористого теплоизоляционного материала на основе переработки глинистых пород в композиций нефтешлам-барханный песок. 3. Технология переработки кремнистой породы – опоки для создания отечественного композиционного сорбента для очистки воды питьевого и хозяйственного назначения. 4. Технология переработки кремнезем и стеклосодержащего силикатного сырья с целью получения теплоизоляционно-конструкционного материала – пеностекла. 5. Технология керамического дорожного материала (керамдора) на основе переработки глинистых пород Западного Казахстана. 6. Технология пористого теплоизоляционно-конструкционного керамического материала на основе переработки кремнистой породы-опоки Западного Казахстана. 7. Технология переработки кремнистой породы – опоки для создания отечественного композиционного сорбента для очистки воды питьевого и хозяйственного назначения.
----	--	---

		8. Рациональная технология использования стеклобоя в производстве силикатного кирпича для повышения теплозащиты ограждающих конструкции при модернизации объектов ЖКХ. (ПЦФ)
11	Мемлекеттік / халықаралық наградалардың, сыйлықтардың, мемлекеттік ғылыми стипендиялардың болуы / Наличие государственных / международных наград, премий, государственных научных стипендий	1. Награжден нагрудным знаком МОН РК «За заслуги в развитии науки Республики Казахстан» (удостоверение № 02227) 2. За особые заслуги в области образования РК награжден нагрудным знаком «Почетный работник образования Республики Казахстан» (удостоверение № 1056) Двукратный обладатель гранта «Лучший преподаватель ВУЗа 2008 и 2014 годы»
12	Научные стажировки	В 2009 году (январь-март) прошел научную стажировку в Японии по международной программе «Болашак» по специальности «Нанотехнология»
12	Публикации	Опубликована более 120 научных трудов, в том числе 5 монографии, 36 статей в международных журналах индексируемых в базе данных Scopus и более 50 статей в журналах входящих в перечень, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и образования (КОКНВО) Министерства науки и высшего образования (МНВО)
13	Патенты на изобретения	Автор 5 патентов на изобретения и на полезную модель
13	Подготовка научно-педагогических кадров	Подготовлено 5 кандидатов технических наук и 5 докторов PhD. В настоящее время является руководителем 6 докторантов PhD
12	Байланыс телефоны / Контактный телефон	Моб: 8 777 238 43 59 Эл. почта: montaevs@mail.ru
13	Қосымша ақпарат / Дополнительная информация	Участие в международных конкурсах. - 18-19 марта 2012 года участвовал в международном семинаре,

	организованный GIST Team CRDF Global в Абу-Даби в Объединенных Арабских Эмиратах. Инновационный проект на тему «Технология теплоизоляционного материала – пеностекла с волластонитовой структурой с использованием карбонатных пород Западного Казахстана», единственный по Казахстану был выбран для второго этапа конкурса Держай бизнес-план. - финалист международного конкурса инновационных проектов «ТЕХНОПРИЗ» организованного представительством Американского фонда гражданского исследований и развития CRDF Global. (2012г.) - обладатель гранта по линии ТОО «Региональный технопарк города Астаны» на технологическое бизнес – инкубирование инновационного проекта. (2012г.) - полуфиналист международного конкурса инновационных проектов «От идеи к рынку» (г. Астана 2013г.) по теме «Легкий и прочный искусственный щебень для зеленого строительства» организованного представительством Американского фонда гражданского исследований и развития CRDF Global. - победитель Республиканского конкурса «Шапағат-2013» по инновационному патенту «Способ получения пеностекла» в номинации «Лучшее изобретение года». -Полуфиналист Республиканского конкурса инновационных бизнес-планов «NIF\$50K» 2014 - Обладатель гранта на «Прикладные разработки» ОО «Taiburyl» по теме «Технология керамзита на основе переработки (2014). слабовспучивающихся лессовидных суглинков с использованием нефтешламов и отработанных масел» - Финалист международного конкурса инновационных проектов REC@NNECT Regional Startup Boot Camp», 5-7 мая 2014 года в г. Катманду (Непал).
--	--

		- Победитель конкурса инновационных проектов «Реактора коммерциализации» г. Рига - Финалист международного конкурса инновационных проектов «Quality innovation of the year 2015», 17-18 сентября 2015 года, г. Алматы.
--	--	---

Является руководителем инновационных научных проектов по темам:

1. Разработка технологии композиционных теплоизоляционно-конструкционных керамических материалов многофункционального назначения для проектирования и строительства энергоэффективных зданий и сооружений;

2. Разработка технологии производства устойчивых геополимерных вяжущих и бетонов на их основе.

3. Разработка технологии производства известково-зольных вяжущих на основе зол ТЭЦ Казахстана.

4. Разработка технологии производства фиброармированных керамических материалов на основе малопластичных глин Казахстана.

4. Разработка технологии переработки глинистых пород с целью создания легкого и пористого гранулированного теплоизоляционного материала;

5. Разработка технологии переработки доменных гранулированных металлургических и фосфорных шлаков с целью создания стеновой керамики низкотемпературного обжига с волластонитовой структурой;

6. Создания технологий производства отечественных биофильтров для рыбного хозяйства с замкнутым водоснабжением на основе переработки кремнистых и глинистых пород РК;

7. Создания технологий производства легких микропористых гранулированных силикатных материалов на основе переработки природных и техногенных ресурсов РК.

8. Создания технологий производства дорожного материала на основе переработки природных и техногенных ресурсов РК по керамической технологий;

9. Разработка технологий утилизаций нефтяных шламов с целью создания спрессованных брикетов как альтернативный источник топлива;

10. Разработка технологий утилизаций нефтяных шламов с целью использования их в качестве топливосодержащих компонентов в производстве пористых силикатных теплоизоляционных материалов;

11. Разработка технологий утилизаций буровых шламов с целью использования их в дорожном строительстве.

Научное издание

Монтаев Сарсенбек Алиакбарұлы

Доктор технических наук, профессор

**Технология производства керамической брусчатки методом
вибропрессования на основе природных и техногенных
сырьевых ресурсов Казахстана**

МОНОГРАФИЯ

Подписано к печати 22.10.2025 г.
Формат 60х84 1/16 Бумага листовая 80 м/г
Объем 7,2 п.л. Заказ №355
Тираж 500 экз.

**Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных оригиналов**

НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический
университет имени Жангир хана»
090009, г.Уральск, Жангир хана, 51