

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН



ZHANGIR KHAN
UNIVERSITY

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

**С.А. Монтаев
А.Б. Шингужиева**

**Разработка технологии строительной керамики
с использованием нефтешламов в качестве
модификатора**

Монография

**Уральск
2025**

УДК: 691.4

ББК: 38.31

М 77

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Рекомендовано к печати Ученым Советом Западно–Казахстанского
аграрно–технического университета имени Жангир хана
(протокол № 12 от 27.06 2025 года)**

Рецензенты:

Нуралин Б.Т., д.т.н., профессор ЗКАТУ им.Жангир хана

Нурбатуров К.А., генеральный директор ТОО «ИННОБИЛД», д.т.н.,
профессор, академик МИА и НИА РК, лауреат Государственной премии по
науке и технике, почетный строитель

С.А. Монтаев

М77 Разработка технологии строительной керамики с использованием
нефтешламов в качестве модификатора: Монография / С.А. Монтаев,
А.Б. Шингужиева. – Уральск: ЗКАТУ им. Жангир хана, 2025. – 212 с.

ISBN 978-601-319-632-9

В монографии представлены результаты исследований по разработке эффективной технологии производства керамзита и керамического кирпича на основе неувпучивающихся лессовидных суглинков, модифицированные конгломератной смесью с нефтешламом.

Монография полезна для научных работников и специалистов, научно–исследовательских центров, промышленных предприятий, а также для профессорско–преподавательского состава, обучающихся строительных специальностей.

УДК: 691.4

ББК: 38.31

ISBN 978-601-319-632-9

© Монтаев С.А., Шингужиева А.Б., 2025

© НАО «Западно – Казахстанский аграрно – технический
университет имени Жангир хана», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Нормативные ссылки.....	6
Определения.....	7
Обозначения и сокращения.....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМЗИТА И СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ И ТЕХНОГЕННЫХ РЕСУРСОВ.....	11
1.1 Исследование свойств керамзита и перспективы его применения...	11
1.2 Исследование влияния керамзита на состав керамзитобетона.....	16
1.3 Применение керамзита в различных областях.....	23
1.4 Анализ технологии производства стеновой керамики с использованием глинистого сырья.....	24
1.5 Анализ технологии производства кирпича с использованием различных добавок.....	31
1.6 Анализ влияния добавок на процессы структурообразования керамики.....	36
1.7 Проблемы и перспективы использования суглинков для производства керамических материалов.....	41
1.8 Использование нефтешламов в производстве строительных материалов	45
Выводы по главе 1.....	46
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	48
2.1 Характеристика сырьевых материалов.....	48
2.1.1 Лессовидный суглинок.....	48
2.1.2 Мелкозернистый песок Бокейординского месторождения ЗКО.....	51
2.1.3 Нефтешламы ТОО «Жайыкмунай».....	54
2.2 Методы исследований.....	56
2.3 Методика исследования нефтешламов.....	59
2.4 Методы исследования структурных изменений в керамических массах при производстве керамзита.....	60
2.5 Методика исследования свойств керамических масс при производстве кирпича.....	62
Выводы по главе 2.....	64
3. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРУЮЩИХ И ЭНЕРГОВЫДЕЛЯЕМЫХ КОНГЛОМЕРАТНЫХ СМЕСЕЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМЗИТА И КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ИХ ОСНОВЕ.....	66

3.1 Разработка составов и технологии конгломератных смесей, предназначенных для применения в керамических массах в качестве модифицирующего компонента при производстве керамзита и кирпича.....	66
3.2 Исследование изменений физико–механических параметров керамзита в зависимости от состава вводимых конгломератных смесей.....	69
3.2.1 Определение физико–механических свойств керамзита.....	71
3.3 Планирование эксперимента и математический анализ результатов испытаний керамических смесей для производства керамзита в исследуемых системах.....	75
3.4 Комплексный анализ сырьевых гранул оптимальных составов систем «лессовидный суглинок – нефтешлам» и «мелкозернистый песок – нефтешлам».....	83
3.5 Зависимость характеристик керамзита от режимов термоподготовки.....	85
3.6 Исследование структуры керамических заполнителей на основе суглинков с добавлением конгломератной смеси в системах «лессовидный суглинок–нефтешлам» и «мелкозернистый песок–нефтешлам».....	88
3.7 Анализ фазового состава керамзита, полученного на основе систем «лессовидный суглинок – нефтешлам» и «мелкозернистый песок – нефтешлам».....	93
Выводы по главе 3.....	97
4. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРУЮЩИХ И ЭНЕРГОВЫДЕЛЯЕМЫХ КОНГЛОМЕРАТНЫХ СМЕСЕЙ В СИСТЕМЕ «ЛЕССОВИДНЫЙ СУГЛИНОК–НЕФТЕШЛАМ» И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛУЧЕНИЯ КИРПИЧА НА ИХ ОСНОВЕ.....	100
4.1 Технологические решения перевода нефтешлама в конгломератное состояние при получении керамического кирпича.....	100
4.2 Исследования составов и свойств керамических масс на стадии сушки при производстве керамического кирпича.....	103
4.3 Исследования составов и физико–механических свойств разработанных составов.....	107
4.4 Применение методов математического планирования при оптимизации составов органоминеральных смесей с нефтешламом.....	122
4.5 Исследование структуры керамической композиции «лессовидный суглинок – конгломератная смесь с нефтешламом».....	129
4.6 Исследования реологических свойств керамических масс в композиции «лессовидный суглинок – конгломератная смесь с нефтешламом».....	136

4.7 Оптимальная влажность и условия формирования смеси «лессовидный суглинок – конгломератная смесь с нефтешламом».....	139
4.8 Определение упруго–вязко–пластических свойств в композиции «лессовидный суглинок–конгломератная смесь с нефтешламом».....	142
4.8.1 Методика проведения эксперимента.....	142
Выводы по главе 4.....	146
5 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМЗИТА И КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА. ТЕХНИКО–ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	148
5.1 Проведение заводских испытаний на основе керамических масс с использованием конгломератных смесей в системах «лессовидный суглинок – нефтешлам» и «мелкозернистый песок – нефтешлам».....	148
5.2 Проведение испытаний разработанных керамзитов в бетоне.....	152
5.3 Оценка технико–экономической целесообразности применения разработанных композиций.....	156
5.4 Разработка оптимальных технологических параметров сушки и обжига керамического кирпича в заводских условиях.....	161
5.5 Техничко–экономическая эффективность технологии производства стеновой керамики на основе композиции «лессовидный суглинок – конгломератная смесь с нефтешламом».....	166
Выводы по главе 5.....	170
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	172
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	174
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	185
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	191
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	193
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	195
ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	201
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	202
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	209
ПРИЛОЖЕНИЕ З.....	211

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

ГОСТ 9758–12	Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы исследований.
ГОСТ 9757–90	Керамзитовый гравий, щебень и песок дробленный и обжиговый, шунгизитовый гравий и песок, аглопоритовый гравий, щебень и песок, пористые щебень и песок из металлургического шлака (шлаковая пемза).
СТ РК 948–92	Гравий, щебень и песок искусственные пористые. Технические условия
ГОСТ 9169–75	Сырье глинистое для керамической промышленности. Классификация
ГОСТ 3900–85	Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности
ГОСТ 2177–99 (ИСО 3405–88)	Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава
ГОСТ РК 50442–92	Нефть и нефтепродукты. Рентгено–флуоресцентный метод определения серы
ГОСТ 21261–91	Нефтепродукты. Метод определения высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания
ГОСТ 6370–83	Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей.
ГОСТ 21534–76	Нефть. Методы определения содержания хлористых солей».
ГОСТ 25820–2000	Бетоны легкие. Технические условия.
ГОСТ 7025–78	Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения водопоглощения и морозостойкости»
ГОСТ 530–2007	Кирпич и камни керамические
ГОСТ 530–2012	Кирпич и камни керамические. Общие технические условия

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Нефтешлам – это сложные смеси, состоящие из нефтепродуктов, воды.

Композиционная конгломератная смесь – тонкомолотая смесь лессовидного суглинка/мелкозернистого песка с нефтешламом.

Морозостойкость – способность материала неоднократно попеременно выдерживать оттаивание и замерзание.

Водопоглощение – материал/изделие впитывает и удерживает в порах и капиллярах воду.

Хроматограмма – это зависимость сигнала детектора от времени.

Прочность – свойство материала, которое воздействует разрушению, возникающее при внутренних напряжениях внешних сил.

Теплопроводность – материал проходит через толщу теплоты, возникающая при разности температур поверхностей, которые ограничивают указанный слой.

Керамзит – вспученный во время обжига материал, где основное сырье – это породы из глины.

Рентгенограмма – зафиксированные показатели присутствующих в материале минералов.

Керамический кирпич – кирпич, который получают из глины с применением добавок с последующим обжигом.

Сушка – процесс удаления из сформованного изделия почти всей влаги: как полученной с сырьем, так и добавленной при формовке.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ИТП–МГ–4 «ЗОНД» – (измеритель теплопроводности малогабаритный)
КТХ – камера тепла и холода
ШСП – шкаф сушильный программный
МШЛ – мельница лабораторная шаровая
КС – конгломератная смесь
ДТА – дифференциальный термический анализ
ДРОН – дифрактометр рентгеновский общего назначения
АРН–ЛАБ–02 – аппарат для разгонки нефтепродуктов
НИИСтромпроект – научный исследовательский и проектный институт
строительных материалов
ЛС–Н – лессовидный суглинок–нефтешлам
МП–Н – мелкозернистый песок–нефтешлам
ЛС–КСН – лессовидный суглинок–конгломератная смесь с нефтешламом

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В связи с улучшением экономики развивающихся стран и увеличения населения планеты увеличивается необходимость в потреблении энергоресурсов. Согласно аналитикам, показатель энергопотребления увеличился в 2 раза.

Энергоэффективность способствует улучшению экономики, производству, внедрению новейших технологий, науки в целом.

Отечественными и зарубежными учеными, экспертами проведены экономические расчеты, согласно которым инвестирование в энергоэффективность – это экономично, чем выстраивать новое производство. Это достигается за счет уменьшения энергетических затрат [1].

Данный аспект достигается за счет внедрения некоторых правовых, технических и других аспектов, а также за счет использования альтернативных источников энергии.

Экономия энергозатрат в производственном цикле – это получение производимой продукции с использованием меньшего количества энергии на ее производство [2]. Это свидетельствует об уменьшении потребления энергии, а также экономии финансов [3].

В направлении уменьшения затрат на производственные циклы при производстве строительных материалов ведут разработки ученые многих развитых стран.

Все апробированные научные данные, полученные в ходе исследовательских работ, внедряют в производство тех или иных строительных материалов. Полученные изделия конкурентоспособны как на отечественном рынке, так и за рубежом.

Научные работы по исследованию нефтешламов позволяют заключить о том, что их можно использовать в качестве добавки, позволяющей снизить энергозатраты.

На сегодняшний день отходы различных производств – это перспективное направление в технологии материалов [4].

Ресурсосбережение, а именно в получении новых материалов, где основной энергозатратный процесс – обжиг, для строительной отрасли является актуальным направлением [5].

Имеет тенденция увеличения количества отходов в виде нефтяных шламов, отработанных масел и др. отходов нефтепереработки. Организации, занятые в нефтяной отрасли не занимаются их использованием, а тратят большие средства на их утилизацию путем сжигания в печах, что требует огромных финансовых затрат на энергию и персонал или передают их другим организациям, занимающимся утилизацией в специальных местах [6]. Это отрицательно сказывается на экологии окружающей среды.

Нефтешламы в своем составе имеют органические вещества, которые считаются ценным сырьем для высокотемпературной обработки изделий [7].

Производство кирпича, извести, керамзита и других материалов требует высокую температуру обжига [8].

На сегодняшний день в производстве керамзита и кирпича имеет место ряд ограничений, таких, как ограниченное количество запасов глин, суглинков; некоторые из них имеют низкие показатели по пластичности, формуемости, высокий показатель чувствительности к сушке, влияющий на качество выпускаемой продукции.

Растет спрос на качественный керамзит, кирпич, спросы которого покрываются за счет импорта готовой продукции из других стран, что влечет за собой высокие цены на строительство объектов.

Таким образом, современное строительство требует качественных ресурсосберегающих и энергоэффективных строительных материалов.

1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМЗИТА И СТЕНОВОЙ КЕРАМИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ И ТЕХНОГЕННЫХ РЕСУРСОВ

1.1 Исследование свойств керамзита и перспективы его применения

Использование керамзита и керамзитобетона в таких конструкциях, как плиты перекрытия, ограждающие конструкции, фундаменты и т.д. Становится актуальной тенденцией в строительстве гражданских зданий.

Автор исследует перспективы производства керамзитовых материалов. В данной работе производство керамзитового материала изучается на примере Бандиханского района Сурхандарьинской области. Были высказаны предложения по внедрению производства керамзита [7].

Был проведен обзор литературы о процессах производства, обжига и набухания керамзита. Было рассмотрено современное состояние автоматизации процесса вспучивания керамзита. Обобщены факторы, влияющие на энергоэффективность вращающихся печей. В настоящее время выявлены нерешенные проблемы и намечены пути их решения. Был составлен список вопросов, которые необходимо решить [8].

Экономические расчёты, связанные с затратами на производство керамзита, остаются одной из актуальных тем. Исследователи Павлова Е.Е., Козлова А.М. и Юркевич Ю.Ю. представили усовершенствованную методику учёта расходов при изготовлении кирпичных изделий [9].

В производстве керамзита широко применяются корректирующие добавки. Например, Полубояров В.А. и его коллеги использовали техногенные отходы в качестве сырья для изготовления керамзита, сосредоточившись на эффективном применении отходов и местных ресурсов [10].

В свою очередь, Бобков О.В. и Клявлиня Я.М. применили осадки, образующиеся после водоподготовительных работ, чтобы улучшить физико-механические характеристики материала [11].

Представлены результаты химического анализа, определения размера частиц и фракционного состава крупнотоннажных нефтепродуктов и железосодержащих отходов. Сделан вывод, что они могут быть использованы для приготовления вспучивающих добавок при производстве керамзита [12].

В данной статье рассматривается перспектива развития производства керамзита путем добавления золы и промышленных отходов. Основное применение керамзитового гравия в строительстве связано со строительством и реконструкцией зданий и сооружений [13].

Процесс получения керамзита путем обжига сырьевой массы при высокой температуре требует особого контроля.

В качестве объекта контроля рассматривается технологический процесс формования керамзитовых гранул в шнековом прессе [14].

На основе анализа известных исследований в области реологических и механических физико–химических свойств керамических масс и влияния условий формования на качество получаемого пористого заполнителя определены выходные координаты – давление прессования, управляющее воздействие – частота напряжения, подаваемого на привод асинхронного двигателя шнека, возмущение – различают колебания влажности исходного керамического сырья. Следует отметить, что рассматриваемое техническое преобразование может быть представлено комбинацией электромагнитных и электромеханических процессов, происходящих в электроприводе шнека, а также гидродинамических процессов в камере шнека и формирующих звеньях пресса. Этот подход сильно отличается от известного подхода. Используя методы теории автоматического управления, системного анализа, идентификации объектов управления и теории электропривода, стало возможным найти зависимости, составляющие математическое описание процесса формования керамзитовых гранул в шнековом прессе как объектов управления. Структурная схема математической модели синтезирована с использованием уравнения, записанного в виде изображения Лапласа. Применение полученных результатов позволит сократить временные затраты на проектирование современных систем автоматического управления производством керамзита, финансовые и материальные затраты при установке регуляторов.

Исследователями разработана вычислительная модель программного обеспечения, предназначенного для управления многомерной системой автоматизации процесса обжига керамзита. Этот инструмент обеспечивает плавный прогрев печи в стартовых и переходных режимах работы. Применение данной модели управления вращающейся печью позволяет существенно снизить токовые нагрузки и динамические удары в приводах с эластичными соединениями, что значительно повышает надежность всей системы [15].

Качество продукции является одной из важных характеристик готовой продукции. Следовательно, от этого зависит ее дальнейшее использование. Яновская А.В., Гереханов Х.В. Изучены особенности контроля качества керамзита [16].

Установлен механизм воздействия битумных эмульсий на глину, находящуюся в различных типах РК, который сводится к адсорбции органической части эмульсии на поверхности глинистых частиц. В данном случае присутствие асфальта приводит к эффективной гидрофобизации поверхности частиц, за которой следует снижение гидратации и укрепление системы. Установлена максимальная концентрация битума в водно–битумных эмульсиях из нефтяных битумных пород, что

стабилизирует размер битумных частиц. Было обнаружено, что вязкость увеличивается из-за усиления контактных взаимодействий между шарообразными веществами эмульсии и преобладания когезионных взаимодействий над адгезивными [17].

Исследователи предложили инновационный метод производства сверхлегкого керамзита с использованием неvspучивающейся глины. В рамках работы были изучены влияние состава смеси и параметры спекания на формирование структуры керамзита. При оптимальных условиях был получен материал с низкой насыпной плотностью, составляющей 280 кг/м³. Выгорающие добавки, такие как опилки и FeO₃, существенно влияют на вспучивающие свойства керамзита. Объемная плотность материала уменьшается с увеличением содержания Fe₂O₃ и температуры спекания, при этом добавление опилок сначала снижает, а затем увеличивает плотность. Образование газов и стекловидной фазы при сжигании опилок и восстановлении Fe₂O₃ способствует формированию вспученной структуры. Полученный керамзит характеризуется сердцевинно–корковой структурой, где плотный внешний слой значительно снижает водопоглощение. Материал обладает показателем вспучивания 32,1%, водопоглощением 12,5%, насыпной плотностью 280 кг/м³ и прочностью на сжатие 1,0 МПа [18].

При постоянном потреблении природных материалов использование отходов для замены природных набухающих материалов является неизбежной тенденцией в производстве керамзита [19].

Пакистанские исследователи провели изучение различных месторождений глин для оценки их пригодности в производстве искусственных легких заполнителей. Для анализа были выбраны пять ранее не исследованных месторождений: Нандипурское, Мултанское, Мирпурское, Сиббийское и ДИК. Геотехнические характеристики образцов были определены, после чего проведен химический анализ с использованием методов рентгеновской дифракции и рентгенофлуоресцентного анализа. Термическая стабильность оценивалась с помощью термогравиметрического анализа. Учёные разработали 120 вариантов смесей, включающих различные размеры гранул, а также соотношения летучей золы и керосинового масла. Применение летучей золы и керосина позволило сформировать пористую структуру с равномерно распределенной сердцевинной и тонкой оболочкой. Установлено, что нандипурская глина обладает наилучшими характеристиками для вспучивания, с коэффициентом вспучивания 3,3 и насыпной плотностью 0,39 г/см³. Эти легкие заполнители могут способствовать сохранению природных ресурсов и снижению стоимости жизненного цикла строительных объектов [20].

Австралийские ученые разработали композицию легких наполнителей, изготовленных из отходов автомобильных пластмасс и

глины. По сравнению с использованием обычной глины была достигнута более высокая пористость на 39,5% и более низкая насыпная плотность на 28,5%. Этот инновационный и экологически чистый подход поможет сократить количество автомобильного пластика, попадающего на свалки [21].

Jiannan Pei предложен экологически чистый способ производства сверхлегкого керамзита с использованием необработанной глины и отходов древесных опилок и изучил его физические свойства и механизм фазового перехода для различных составов сырья и параметров спекания. Содержание древесных опилок и Fe_2O_3 влияло на свойства керамзита, снижая насыпную плотность и водопоглощение, способствуя образованию газовой и стеклофаз, в результате чего получался сверхлегкий керамзит с низким коэффициентом набухания и водопоглощения. Плотность материала составила 280 кг/м^3 , а прочность – 1,0 МПа. Известны работы, в которых для получения керамзита используются модифицирующие добавки в виде различных кислот [22].

Так, в статье показано, что модификация фотопластифицированной глины серной кислотой и гидроксидом калия значительно повышает ее эффективность при удалении гербицида паракват из водного раствора, достигая 70,8 % удаления при оптимальных условиях. Модифицированный керамзит показал лучшие адсорбционные свойства при максимальной производительности, а процесс удаления был экзотермичным и самопроизвольным. Также было подтверждено, что обработанный адсорбент сохранил свою эффективность после четырех циклов регенерации [23].

Федоренко А.Ю. и Сорочкина О.Ю. в работе исследованы методы неразрушающего и разрушающего контроля прочности и влияние керамзита, что помогает обосновать изменения в действующих стандартах [24].

Исследованный керамзитобетонный заполнитель, полученный путем высокотемпературного спекания глины, обладает уникальной ячеистой структурой, обеспечивающей тепло– и звукоизоляцию, химическую инертность и огнестойкость. Обзор посвящен синтезу керамзитобетонных заполнителей, лабораторным и промышленным процессам их получения, а также применению в различных бетонных композициях, которые помогают достигать прочности более 68 МПа и плотности до 1000 кг/м^3 в легком бетоне, геополимерах и бетонах высокой прочности [25].

Литвиновой Т.А. проведено исследование по разработке технологии использования органоминеральных добавок, получаемых при переработке нефтесодержащих отходов, для производства экологически безопасного керамзита. Использование таких добавок улучшает физико–механические свойства керамзита, увеличивает коэффициент набухания до 3 раз, снижает насыпную плотность и энергозатраты, а также данная технология

отвечает требованиям самых высоких доступных технологий и способствует утилизации отходов и повторному использованию ресурсов [26].

Экологические проблемы производства керамзита рассмотрены в работах [27, 28].

Картушкиной Ю. Н. рассмотрено влияние добавок из отходов биологической переработки и производства древесного угля на прочностные характеристики керамзита. Органические примеси из активного ила и угольных отходов способствуют нормальному набуханию сырья и улучшают физико–механические свойства конечного продукта. Предлагаемый способ позволяет решить производственные и экологические проблемы [27].

В статье представлены результаты исследования физико–механических свойств и химического состава глины для использования в качестве сырья для производства керамзита. Было показано, что рациональное использование отходов позволяет снизить нагрузку на окружающую среду и обеспечить альтернативное землепользование [28].

В исследованиях Бойжанова И.Р. изучались фазовые превращения и микроструктура керамзитовых материалов из гурленской глины с использованием добавок госсиполовой смолы и местного песка. В результате проведенного анализа было показано, что добавка улучшает условия спекания и набухания, формирует мелкопористую структуру с равномерно распределенными кристаллами и повышает физико–механические свойства керамзита [29].

Авторами предложен способ снижения пылеобразования при обжиге керамзитового гравия с использованием добавления феррохромолитносульфоната, который улучшает износостойкость необработанных гранул и увеличивает трещиностойкость. Эта добавка увеличивает температурный диапазон и коэффициент набухания при выпечке без необходимости повышения температуры в зоне набухания [30].

Исследование влияния отходов топливной золы и зерновой соломы на свойства керамзитового гравия рассмотрено в [31]. Было определено, что добавление 5% топливной золы и 1,5% соломы улучшает набухание сырья и повышает прочностные характеристики готового продукта, соответствующие государственным стандартам.

Актуальным направлением в производстве керамзита является использование керамзитовой пыли в строительных материалах. Так, авторами изучен гранулированный состав керамзитовой пыли с Сумгаитского завода и ее гидравлическую активность [32]. Введение 10–20% керамзитовой пыли в гипсовый камень снижает прочность на сжатие с 16,0 МПа до 13,9 МПа, в то время как добавление 5% извести увеличивает прочность до 18 МПа и позволяет использовать такие вяжущие в сухих помещениях.

Махортовым Д.С. исследован связующий состав на основе портландцемента и керамзитовой пыли, подвергнутый механической активации в вибрационной мельнице [33]. Полученная композиция демонстрирует активный рост пор и сжатие структуры композитов, что улучшает их физико-химические свойства и расширяет область применения.

В работе в результате изучения состава и позолановой активности образцов керамзитовой пыли от ряда компаний по производству керамзитового гравия, взятые на разных технологических процессах очистки от пыли, были приняты средние значения гранулометрического состава частиц пыли, позолановой активности керамзитовой пыли при измельчении удельная площадь поверхности составляет $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ [34].

1.2 Исследование влияния керамзита на состав керамзитобетона

Легкий керамзитобетонный заполнитель – это наполнитель, широко используемый в строительстве, например, в качестве наполнителя для легкого бетона или аналогичной засыпки грунта. Благодаря своей высокой прочности и низкой плотности керамзит широко используется в таких строительных материалах, как легкие блоки, кирпич и бетон [35]. Свойства материала могут варьироваться в зависимости от производителя или предполагаемого использования наполнителя. Легкий наполнитель изготавливается из глины и обжигается во вращающейся печи. В процессе производства глина расширяется, в результате чего масса приобретает неровную структуру, образованную твердой внешней оболочкой и очень пористой сердцевинкой, что придает ей характерную легкость. Некоторые из этих пустот открыты, в то время как другие закрыты [36].

В данной статье экспериментально оценивалась возможность использования местного легкого заполнителя (LZ) при проектировании железобетонных балок (RC). Исследованный заполнитель был шлакового происхождения, с поглощающей способностью 10% и плотностью в сухом состоянии от 860 до 1120 кг/м^3 [37]. Серия из 16 полноценных железобетонных балок прямоугольного поперечного сечения со свободной опорой была спроектирована с использованием двух значений прочности бетона, нормального и высокого, и двух соотношений растягиваемой стали со сбалансированным коэффициентом армирования в соответствии с требованиями стандарта. В случае смеси, разработанной компанией LZ, уровень замены наполнителя нормального веса на крупный наполнитель составлял 100 %, а уровень замены мелкозернистого наполнителя составлял 62,5 %. Показаны зависимости нагрузки от прогиба и момента от кривизны, поведение трещин, типы изломов и показатели пластичности. В результате испытаний было установлено, что реакция несущей балки на изгиб аналогична реакции бетонной балки нормального веса (НВ). Все

испытанные балки–заполнители были разрушены, продемонстрировав относительно большой прогиб в центре пролета, а также большую кривизну и широкие трещины по сравнению с балками h_b с такой же прочностью при соотношении бетона и стали. Наиболее важным параметром, влияющим на пластичность присадочной балки, был коэффициент прочности стали. Кроме того, исследованный шлак в заполнителе может быть успешно использован при проектировании конструкции.

Учеными Kwek S.Y., Awang H., Cheah C.B., Mohamod H. изучены заполнители на основе POFA [38]. Для легкого бетона были разработаны спеченные наполнители на основе POFA и ила. Сокращение имеющихся природных ресурсов и образование отходов оказывают сильное воздействие на окружающую среду. Возможным решением является производство искусственных наполнителей из отходов. Использование промышленных отходов в качестве геополимеров и заменителей цемента в бетоне является актуальной проблемой. Кроме того, некоторые искусственные наполнители, полученные учеными из разных стран, изготовленные из отходов производства, таких как LECA, Lytag, формируют основу для дальнейших операций. Важной областью исследований является использование хорошо известного связующего POFA, активируемого бинарным активатором в сочетании с илом, для получения искусственного наполнителя. Были исследованы физические, механические и термические свойства, а также микроструктура оптимизированного спеченного наполнителя POFA–il (S–POFA) для легкого бетона. Сначала был проведен анализ характеристик сырья и шлама. Далее изучается влияние различных пропорций смесей POFA и ила на свойства наполнителя S–POFA при температуре спекания (1150°C), определенной в результате предварительных исследований. Выбранный оптимизированный спеченный заполнитель S–POFA применяется в качестве крупного заполнителя для производства бетона с целью определения его свойств. Исходя из результатов, увеличение доли POFA показывает тенденцию к увеличению плотности и механических свойств, но к снижению водопоглощения. Это наблюдение связано с образованием плотной матрицы внутренней микроструктуры заполнителя S–POFA. Спеченный наполнитель S–POFA, содержащий 40% POFA, демонстрирует наилучшие прочностные характеристики с оптимальными результатами и поэтому используется для бетонных смесей. Кроме того, плотность наполнителя S–POFA указывает на то, что все образцы относятся к категории легких наполнителей. Получаются заполнители S–POFA с прочностью более 30 МПа и плотностью менее 2000 кг/м^3 . Кроме того, этот бетон обеспечивает низкий коэффициент капиллярного поглощения и усадки. Внутреннее отверждение обеспечивает дополнительную гидратацию для повышения прочности бетона. Таким образом,

наполнитель S-POFA обладает хорошей обрабатываемостью и прочностью, что достигается за счет использования спеченного наполнителя S-POFA. Количество отработанного моторного масла увеличивается с каждым годом, и ежегодно выбрасывается от 24 до 106 тонн отработанного масла. Поиск альтернативных вариантов повышения стоимости нефти является серьезной проблемой, поскольку в химическом составе нефти содержатся тяжелые металлы, опасные как для человека, так и для окружающей среды. Была проведена оценка возможности использования масел, используемых в качестве набухающих добавок при производстве керамзитобетонного заполнителя для легкого бетона, и оценено влияние этих масел на физико-механические свойства бетона. Были изучены химические свойства масла и проведена оценка оптимизации добычи масла с учетом изменения дозировки масла, термического цикла и начального размера глинистых гранул. Затем были получены морфологические, физические, химические и механические свойства оптимизированного масла с использованием сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, инфракрасной спектроскопии с использованием преобразования Фурье, а также стойкость к истиранию и ударам [39].

Производство легких заполнителей в последние годы включает в себя добавление побочных промышленных продуктов. При производстве керамзита они выступают не только в качестве модификаторов, повышающих пенообразующую способность, но и в качестве корректирующих добавок для утилизации отходов в странах, где легкий бетон используется при строительстве высотных сооружений. Представлен обзор литературы по использованию побочных продуктов в качестве добавок при производстве легких наполнителей. В качестве методологии использовался библиографический поиск с использованием специализированных баз данных, таких как Sciencedirect, и других документальных источников из научных журналов с открытым доступом в нескольких странах. Критерии отбора документов были определены в соответствии с частотой использования побочных продуктов. Рассмотрено более 50 работ, посвященных добавлению побочных продуктов при производстве легких заполнителей. Из-за отсутствия статей на эту тему в качестве темы исследования было предложено изучение использования колумбийских побочных продуктов в качестве добавок при производстве керамзитовых наполнителей [40].

В статье представлены методики испытаний и результаты экспериментальных исследований прочности и деформирования конструкционного керамзитобетона конструкций высокой плотности при монотонных, малоцикловых сжимающих и растягивающих нагрузках за счет комплекса физических воздействий, а также структурно-механических свойств [41]. Метод (тензометрический, ультразвуковой

импульсный и акустоэмиссионный). Получены диаграммы деформации, количество акустических импульсов, скорость прохождения ультразвука и уровень напряжения. Предложена экспериментальная формула для определения границы образования микротрещин в керамзитобетоне.

Предметом исследования является керамзитобетон с добавками пылевидного и гранулированного доменного шлака, кремнезема, суперпластификатора и воздухоулавливающей добавки для 3D-печати. Тепловыделение бетона и его теплопроводность были изучены в зависимости от состава бетона (цемент, водоцементная композиция, керамзит), добавок (шлак, диоксид кремния) и присадок (суперпластификатор, воздухововлекающий агент). Теплопроводность бетона зависит в основном от содержания щебня или керамзита и незначительно от содержания цемента. При увеличении обоих факторов теплопроводность снижается [42].

Керамзит, армированный полимерными волокнами, был получен из полипропилена. Дисперсионное армирование полимерными волокнами является одним из приоритетных направлений модификации легкого бетона, особенно керамзитобетона. В статье показано влияние бинарных колебаний ключевых факторов (размеры ребер образцов объемом 100 и 150 мм куб.) на величину прочности керамзитобетона на сжатие в кубическом объеме [43]. Многие ученые в развитых странах используют различные добавки, отходы, при определении свойств керамзита, а также для улучшения физико-механические, теплоизоляционные и другие свойства получаемого продукта. Мы провели детальное исследование состава керамзитобетона.

Ржевуцкой В.А. проведен анализ расчетной модели для определения усадочной деформации керамзитобетона и сравнение с экспериментальными данными. Было обнаружено, что расчетные значения усадки часто превышают фактические значения усадки, особенно на ранних стадиях (до 7 дней) [44]. Для получения точных результатов требуются дальнейшие усовершенствования модели.

Данная работа была направлена на исследование влияния предварительного нагрева на свойства жаростойкого керамзитобетона [45]. Разработан режим электронагрева, который позволяет повысить прочность и физико-тепловые свойства бетона и керамзита, а также сократить время сушки и приготовления теплового агрегата.

Авторами изучаны вопросы по улучшению эксплуатационных характеристик легкого конструкционного керамзитобетона [46]. Проведены исследования по использованию комплексных добавок: суперпластиков, активных минералов и улучшенного керамзита. Оптимальная дозировка добавок в керамзит и бетон повышает основные свойства материала и обеспечивает его высокую эффективность без изменения технологии и оборудования, в результате чего удалось

разработать рекомендации по использованию добавок при изготовлении керамзитобетона.

В статье рассмотрена технология введения тепла в керамзитобетонную смесь для создания внешней закрытой конструкции [47]. Было изучено влияние поэтапного нагрева на прочность и эксплуатационные характеристики бетона, и было предложено использовать тепло для охлаждения керамзита. Авторы рекомендуют вводить цементный раствор в керамзит для повышения эффективности производства.

В работе Синянского И.А. были рассмотрены расчет и технология изготовления наружных стен с крупноячеистыми ячеистыми конструкциями [48]. Даны рекомендации по повышению прочности и снижению теплопроводности конструкции с использованием керамзита и пористого бетона.

Шереметом А.А. в исследовании решена проблема развития аддитивной технологии 3D в России, разработав формовочное оборудование и композиционные материалы для крупнопористого керамзитобетона, провел эксперименты, которые показали, что плотность материала зависит от удельного расхода вяжущего, а прочность – от воды – соотношение цемента. Разумно подобранный состав обеспечивает необходимые эксплуатационные характеристики трехслойной конструкции [49].

В работе изучено воздействие суперпластификаторов на вспученные глины и керамзиты–пеногасители и показано их влияние на свойства смесей и материалов [50]. Построенная регрессионная модель и корреляционный анализ позволили оценить эффективность добавок с использованием конструктивного коэффициента качества.

Авторами изучено влияние вакуумной обработки, температуры нагрева, времени перемешивания и силы нагружения на прочность жаростойкого керамзитобетона для облицовки тепловых узлов и керамзитобетонной крошки, а также изучали влияние вакуумной обработки на технические свойства бетона на основе портландцемента и керамзитового песка [51]. В результате было установлено, что вакуумная обработка улучшает прочность бетона за счет увеличения подвижности смеси, плотности упаковки наполнителя и эффекта вакуумной герметизации.

Прогресс в снижении веса конструкций освещен в работе [52]. Чтобы снизить вес конструкции, были разработаны многослойные железобетонные полы из легкого и тяжелого бетона, которые на 30% легче обычных полов. Был создан состав самоуплотняющегося керамзитобетона с маркой плотности D1400 с использованием суперпластификаторов и воздухоулавливающих добавок, который позволил получить зависимость прочности и модуля упругости, а также выявить ингибирование

образования микротрещин при нагрузке до 80% от предела прочности при растяжении.

Керамзит был основным пористым наполнителем в панельном домостроении с первых дней индустриализации. Современные разработки в области материаловедения позволяют вернуться к однослойным керамзитобетонным ограждениям для энергоэффективных зданий, используя панели и блоки для различных строительных технологий. Такая конструкция обеспечивает быстрое возведение, экологическую безопасность, долговечность и пожаробезопасность [53].

Бондарем В.В. изучен мировой опыт использования керамзита в конструкционном керамзитобетоне, в том числе высокой прочности, в различных областях строительства. Рассмотрены требования стандартов проектирования к физико-механическим свойствам и долговечности [54]. Также проанализированы перспективы развития керамзитобетона с учетом новых модификаций для повышения коррозионной стойкости, обрабатываемости и прочности.

Маматовой Х.А. в работе исследован керамзит, используемый в качестве наполнителя для пенобетона. Это позволит не только сэкономить ресурсы, но и улучшить свойства пенобетона [55].

Известны исследования по использованию базальтовых волокон при изготовлении керамзитобетона [56–58]. Установлено влияние щебеночно-базальтового волокна в составе керамзитобетона на повышение прочности. Получены экспериментальные данные о механических свойствах при испытаниях на сжатие и изгиб. Дисперсные измельченные базальтовые волокна использовались для армирования образцов размерами 100×100×100 мм и 100×100×400 мм.

В работе исследовано влияние базальтового волокна и сетчатого армирования на изгиб и пластичность легких керамзитобетонных плит [57]. Испытания показали, что добавление дисперсного базальтового волокна и базальтовой сетки значительно улучшает механические свойства плиты, увеличивает максимальную изгибающую нагрузку и уменьшает прогиб. Плиты с базальтовым армированием и волокном показали повышенную пластичность и прочность по сравнению с плитами без армирования.

Авторами проанализировано влияние полимеров из базальтового волокна на колонны из легкого керамзитобетона под нагрузкой [58]. Эксперименты показали, что колонны с дисперсными базальтовыми волокнами выдерживают нагрузки до 26,67 тонн, в то время как колонны с волокном и сеткой выдерживают нагрузки до 29 тонн, что значительно превышает прочность колонн без добавок (19,6 тонн). Это подтверждает, что использование базальтового волокна и сетки улучшает прочностные характеристики керамзитобетонных колонн.

Керамзит с использованием волокнистого материала рассмотрен в работе [59]. Было изучено влияние кокосовых и сизалевых волокон на

механические свойства легкого керамзитобетона. Добавление 2% волокна от массы цемента повышает прочность на сжатие и изгиб, особенно при использовании сизалевого волокна, которое увеличивает прочность на сжатие на 10,1% и прочность на изгиб на 18,3%. Формула была разработана для определения плотности керамзитобетона с волокнами или без них.

Различные добавки в составе керамзита и керамзитобетона по-разному влияют на свойства продукта.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по выявлению влияния пластификаторов на основе поликарбоновых кислот на свойства керамзита и керамзитобетона, при этом возможно повышение его прочности за счет введения поликарбоксилатных модификаторов нового поколения в количестве 0,5–1,5% в состав керамзита бетон в 1,7–2,4 раза [60].

Michala H. и Rudolf H. проведены исследования по использованию легких и самоуплотняющихся бетонов с добавлением искусственного легкого заполнителя на основе керамзита в производстве товарного бетона и сборных элементов [61]. Основной целью работы было изучение влияния керамзита на долговечность бетонов, подвергаемых воздействию агрессивных химических сред, включая жидкости и газы. В рамках исследования оценивалось поведение бетонов в условиях воздействия высоких концентраций сульфатов, хлорид-ионов, автомобильного топлива, нефтепродуктов, а также газообразных сред, таких как CO_2 и SO_2 .

Турецкими учеными проведено исследование 13 различных керамзитобетонных смесей, включая анализ плотности, пористости, прочности и модуля упругости в зависимости от влажности [62]. В результате было показано, что прочность на сжатие в сухом состоянии на 9% выше, чем во влажном, а модуль упругости при сушке снизился на 26%. Была разработана новая модель прогнозирования модуля упругости, которая была протестирована на независимых данных, чтобы показать ее точность.

Компания Phuc–Lamdao изучала диффузию хлоридов в легком керамзитобетоне. Результаты испытаний показали, что коэффициент диффузии хлоридов сначала снизился на 15% при напряжении, равном 20% от одноосной прочности, а затем увеличился на 40% при напряжении, равном 75%. Установлена линейная зависимость между проницаемостью, газопроницаемостью и диффузией хлоридов, что важно для оценки долговечности в агрессивных средах [63].

J. Sobhani и др. провели экспериментальные исследования бетонных смесей с использованием шлаковых заполнителей и фотообработанной глины из дуговой печи [64]. В результате установлено, что такие показатели, как прочность, долговечность и устойчивость к циклам замораживания/оттаивания улучшились. Смеси с натуральным и

керамзитовым наполнителями демонстрируют увеличение коэффициента прочности на 124% и 63% соответственно по сравнению со стандартом, а также улучшение износостойкости и солеотложений.

Сложный процесс в структуре керамзита был изучен в работе [65]. Зарубежными учеными Elías Roces–Alonso и др. изучено количество фрагментов, на которые распадаются зерна фотолегочной глины, в зависимости от количества контактов, подлежащих биномиальному распределению, и их диаметра. Разработана статистическая модель и модель, основанная на байесовских сетях, которая позволяет прогнозировать количество фрагментов и их размер в зависимости от количества контактов, которые могут быть использованы для дискретно–элементного моделирования гранулированных сред.

В статье исследованы и разработаны легкие геополимерные композиты с использованием керамзита в качестве стабильной альтернативы традиционному цементу [66]. Были изучены их физические и механические свойства, включая прочность на сжатие и растяжение, а также способность поглощать энергию при различных нагрузках. На основании полученных результатов предложена эмпирическая формула для описания свойств композиционных материалов с керамзитом для использования в строительстве.

В работе получены выражения изотермы адсорбции для многослойной адсорбции паров [67]. Обработка активированного керамзита перекисью водорода увеличивает адсорбцию неполярных адсорбентов путем декарбоксилирования в 44 раза. Изучена адсорбция ацетата цинка на модифицированных вспученных глинах при температурах от 0 до 85°C, а при pH>8 гидролизованная форма соли нейтрализуется адсорбированной уксусной кислотой.

Работа направлена на получение керамзитобетона с добавками шлака, кремнезема, суперпластификаторов и воздухоулавливающих добавок для 3D–печати [68]. Теплопроводность бетона зависит от содержания керамзита и цемента, и с увеличением его количества теплопроводность снижается. Воздухонепроницаемые добавки увеличивают тепловыделение бетона за счет химических реакций с продуктами гидратации цемента.

1.3 Применение керамзита в различных областях

В строительстве керамзит применяется как легкий пористый заполнитель в бетонах, эффективный тепло– и звукоизоляционный материал, также дренажная и выравнивающая подсыпка в различных конструкциях.

В работе был исследован и предложен инновационный материал для очистки воды, представляющий собой суспендированный керамзит с

иммобилизованными денитрифицирующими бактериями и $\text{TiO}_2\text{-AgNP}$. Материал эффективно удаляет нитриты (до 99%) и подавляет патогенные микроорганизмы *Vibrio parahaemolyticus* на 99,93%, не повреждая бактерии при воздействии видимого света [69].

Авторами рассмотрена возможность использования керамзита в качестве звукоизоляции в строительстве [70]. В работе представлен подход к звукоизоляции каменных блоков из легкого бетона, изготовленных с использованием легкого керамзита. Блоки из керамзита специально разработаны, подходят для звукоизоляции между жилыми помещениями и имеют воздушную изоляцию, что позволяет возводить разделительные стены между разными домами быстрее и с меньшими затратами.

Авторами изучена эффективность легкого керамзита в качестве амортизатора для защиты железобетонных плит перекрытия от повторных ударов камнепада. Подушка, изготовленная из легкого керамзита, снижает передаваемую нагрузку и риск повреждения по сравнению с песком, обеспечивает более широкий угол распределения напряжений и предотвращает отклонение пластины от предела упругости при высокой энергии удара. Это подтверждает возможность повышения безопасности сооружений на скальных выступах [71].

Авторами исследована и рассмотрена возможность использования легкого керамзитового заполнителя вместо обычного песка для решения проблемы выпадения осадков на мягких почвах [72]. Керамзит является эффективным строительным материалом благодаря своей легкости и прочности, а оптимальные условия уплотнения и варианты путей замены были определены с использованием графика силы уплотнения и целевого уровня уплотнения. Качество уплотнения проверяется с помощью легкого дефлектора (LWD) для достижения требуемой плотности.

Керамзит благодаря своим универсальным свойствам широко используется в строительстве, промышленности и благоустройстве как эффективный теплоизоляционный, дренажный и конструкционный материал.

1.4 Анализ технологии производства стеновой керамики с использованием глинистого сырья

Российскими учеными за последние годы разработаны инновационные технологические решения, позволяющие значительно улучшить качество сырца, уменьшить производственные затраты и добиться высокого качества кирпича полусухого прессования. Эти решения касаются в первую очередь за счет совершенствования процесса подготовки пресс-порошка и конструкции технологического оборудования, прежде всего прессового оборудования [73, 74, 80, 81].

Получены результаты опытно–промышленных испытаний по получению керамического кирпича из промышленных отходов, таких как отходы руд. Установлено, что на их основе получают изделия высокого качества. Для получения таких изделий необходимо создать структуру в виде матрицы камня с помощью грануляции отходов, опудривания их небольшим слоем глинистой массы. При давлении прессования массы равном 20 МПа, и температуре обжига 1050°C получают керамический кирпич с высокими прочностными, эксплуатационными показателями.

В исследованиях экспертов отмечены работы, где применяют легкоплавкие глины, а также глиносодержащие породы, которые считались непригодными для получения различных видов материалов.

Для получения конструкционных материалов распространенными сырьевыми материалами являются глины, суглинки, сланцы с глинистыми включениями и др. Чтобы использовать данные ресурсы в получении керамики необходимо добавлять добавки, которые регулируют свойства сырьевой смеси и готовой продукции. Разработан состав кирпича, состоящий из глины Метеховского месторождения, марганцевого флютоконцентрата и кварцевого песка в количестве по 15%. Полученный продукт имеет следующие характеристики: марка 200–250, морозостойкость 50 циклов.

В производстве кирпичей разработаны составы с использованием суглинков и ваграночного шлака, где результаты исследований показали, что во время сушке сырца брак уменьшается в 2 раза, происходит увеличение марок выпускаемых кирпичей (М120). После термообработки уменьшилось содержание кварца, и наоборот количество волластонита, анортита увеличилось.

Также сланцы использовали совместно с промышленными отходами (зола), объем составил 5%. Разработанные составы в композиции: глина, 10% и осадок от производства сахара, 2–3% способствовали увеличению свойств сырьевых масс, марка кирпича составила 100–125, показатели $F=15$ [17].

Начальный этап формирования структуры керамических материалов начинается ещё на стадии их формования. В технологической практике принято выделять три основные категории методов формования:

- формование из жидких масс (литьё) – предусматривает предварительный переход керамической массы в текучее состояние с последующим её заливанием в форму;
- пластическое формование – требует наличия у массы высокой пластичности и оптимальной консистенции, обеспечивающей её деформируемость без разрушения;
- полусухое прессование – предполагает использование маловлажных керамических масс с соответствующей текучестью при воздействии давления.

В производстве керамических стеновых изделий применяются варианты формования:

- экструзия пластичного элемента, далее его режут на изделия;
- формование бруса из жёстких масс, характеризующихся пониженным содержанием влаги (так называемое жёсткое формование);
- формование изделий из вязко–текучих масс с использованием форм (метод машинной имитации ручной формовки);
- прессование изделий из полусухих керамических масс.

Независимо от выбранного метода, важнейшим технологическим требованием является обеспечение структурной однородности формуемой массы. Именно это определяет равномерность усадки, поведение изделия при сушке и обжиге, а также его конечные физико–химические характеристики.

Следует отметить, что в производстве строительной керамики методы литья и формования из вязко–текучих масс не находят широкого применения. Это обусловлено высокой трудоёмкостью данных процессов и значительной продолжительностью технологического цикла. В связи с этим наибольшее распространение получили пластическое и полусухое формование.

Важным фактором, влияющим на свойства формуемой массы, является наличие остаточных водных прослоек в межчастичных контактах. Эти прослойки обеспечивают относительную подвижность частиц, способствуют развитию пластичности и определяют ползучесть материала при воздействии малых сдвиговых напряжений.

Прочностные характеристики коагуляционных структур, формирующихся в глиняных суспензиях с низкой концентрацией твёрдой фазы, во многом определяются количеством межчастичных контактов сцепления, а также числом свободных частиц, возникающих при спонтанном диспергировании глинистого материала. С увеличением толщины водных прослоек прочность таких структур закономерно снижается. Эта зависимость особенно выражена в глинистых массах, где развитая площадь межчастичных контактов ориентирована по плоскостям спайности.

При сохранении общей структуры массы, повышение влагосодержания приводит к резкому снижению прочностных показателей. Это обусловлено, прежде всего, усилением адсорбционных явлений, поверхностной диффузией и утолщением водных слоёв, разделяющих глинистые частицы. Воздействие на глинистую систему с помощью электролитов, поверхностно–активных веществ и защитных коллоидов позволяет целенаправленно изменять характер взаимодействия между водой и глиной. В результате становится возможным

контролировать процессы пептизации, а также прочность коагуляционных связей, что непосредственно влияет на свойства изготавливаемых масс.

При обработке и формовании керамической массы происходит последовательное разрушение исходной структуры сырья посредством его дробления и измельчения, составление шихты с последующим увлажнением, механическое перемешивание и переминание, вакуумирование массы, завершающееся стадией непосредственного формования изделия.

Ключевым параметром, определяющим эффективность данных операций, выступает содержание затворяющей воды. Именно от её количества зависит степень однородности получаемой массы и, как следствие, качество формируемого изделия. Оптимальный уровень влаги обеспечивает устойчивую структуру, равномерную деформируемость материала и стабильность получаемых форм.

Во многих технологических случаях обработка керамических масс осуществляется при дефиците воды, необходимой для полноценного формирования гидратных оболочек и появления иммобилизованной влаги. Это приводит к тому, что масса не приобретает требуемых прочностных, упругих, пластичных и вязких свойств. Недостаточное водосодержание в сочетании с преобладанием адсорбционно связанной влаги и усилением межчастичного сцепления за счёт молекулярных (вандер-ваальсовских) взаимодействий затрудняет равномерное распределение влаги и выравнивание структурно-механических характеристик во всём объёме массы.

Для достижения гомогенного влагораспределения и выравнивания структуры применяются технологические приёмы длительного перемешивания и интенсивного переминания массы. Эти операции способствуют более полному увлажнению твёрдой фазы и формированию стабильной пространственной структуры.

Поэтому значительное число исследований в области технологии строительной и технической керамики направлено на установление оптимальных параметров влажности при подготовке массы, а также на определение допустимых границ её колебаний в производственных условиях.

Следовательно, формирование пространственной структуры керамической массы при пластическом формовании в системе глина–вода обусловлено как уровнем водосодержания, так и интенсивностью механической обработки. При этом полноценное формование возможно лишь при наличии в составе массы пластичного компонента – глины.

Однако, в условиях необходимости переработки широкого ассортимента минерального сырья и вторичных промышленных ресурсов пластический способ формования имеет существенные ограничения. В

таких случаях более эффективным оказывается метод полусухого прессования, который обладает рядом технологических преимуществ:

- возможность использования непластичных материалов;
- высокая точность геометрических параметров изделий;
- потенциал полной автоматизации процесса;
- сокращение или исключение стадии длительной сушки.

В полусухом способе формования глина и вода, традиционно являющиеся основой пластического процесса, выполняют вспомогательную функцию, они служат технологической связкой для формирования пресс-порошков, обеспечивая их структурную прочность и формуемость.

При полусухом прессовании керамических порошков уплотнение материала сопровождается характерной последовательностью микроструктурных изменений. На начальной стадии прессования наблюдается преимущественное перемещение частиц по направлению приложения внешнего давления, в результате чего формируются контактные соединения. С дальнейшим увеличением нагрузки эти образования частично разрушаются за счёт взаимного смещения и перераспределения частиц, что способствует достижению устойчивого положения структурных единиц и плотной упаковки системы.

По мере прогрессирования процесса и достижения определённой степени уплотнения, дальнейшее сжатие приводит к интенсивной деформации самих частиц или их агрегатов. Эта деформация может носить обратимый (упругий) или необратимый (пластический) характер, в зависимости от свойств исходного материала. Однородность полученной структуры прессовок обеспечивается комплексом факторов: оптимизацией давления прессования, влажности и гранулометрического состава пресспорошков. Однако при разработке технологических режимов прессования необходимо учитывать специфику конкретного минерального сырья, что требует индивидуального подхода к выбору параметров.

В производстве керамических стеновых изделий окончание этапа формования обозначает завершение одного из ключевых этапов технологического цикла. Однако в этом состоянии сформированные изделия ещё не обладают необходимыми эксплуатационными характеристиками. Для достижения прочности, долговечности и других требуемых свойств изделия подвергаются сушке и последующему обжигу.

Одним из определяющих факторов на стадии сушки является исходное влагосодержание формовочной массы. Повышенная влажность приводит к значительному увеличению продолжительности сушки и требует более строгого контроля температурно-влажностного режима. В технологии стеновой керамики, основанной на глинистом сырье, этап сушки является критически важным: именно на нём формируются ключевые потребительские и технологические свойства изделия.

Нарушения в режиме сушки, особенно при наличии чрезмерной влажности или неравномерного распределения влаги, приводят к дефектам, таким как трещинообразование, что в дальнейшем существенно влияет на эффективность обжига и прочностные характеристики готовой продукции.

Научные исследования, посвящённые процессам сушки глинистых масс, получили широкое развитие благодаря фундаментальным работам отечественных учёных [91, 92]. Ребиндером П.А. была сформулирована теория форм связи влаги с твердым телом в процессе сушки, основанная на энергетической концепции взаимодействия воды с поверхностью материала. Одной из ключевых характеристик этой связи является адсорбционный потенциал, впервые введённый ПоляниМ., который отражает энергию удержания влаги в материале.

Развитие этой теории получило продолжение в работах Л.М. Никитиной, показавшей, что в гигроскопической области значение адсорбционного потенциала по модулю совпадает с химическим потенциалом влаги. Этот параметр описывает не только адсорбционно удерживаемую воду, но также влагу, связанную осмотическими и капиллярными силами.

Для описания влагообмена во всём диапазоне влажностей тела – от свободной влаги до гигроскопически связанной – А.В. Лыков ввёл понятие потенциала массопереноса (или влагопереноса), определяемого экспериментально. Богославским В.Н. этот параметр трактуется как потенциал влажности, подчеркивая его универсальность при описании процессов влагоотдачи.

Значительный вклад в теорию влажностного состояния капиллярно–пористых тел внесён Циммерманисом Л.Б., который предложил термин «потенциал оводнения» – единый энергетический параметр, описывающий движение влаги в материале. Этот подход стал важным этапом в развитии теории влагообмена и сушки керамических масс, позволяя более точно прогнозировать поведение материала на различных стадиях тепловлажностной обработки.

Процесс удаления влаги из сырья на стадии сушки сопровождается уменьшением его объёма, что обуславливает усадку материала. Вопросы, связанные с усадочными характеристиками капиллярно–пористых тел, подробно рассматриваются в ряде научных исследований [83, 84].

Согласно ряду авторов, усадка происходит преимущественно под действием капиллярных сил, возникающих в процессе удаления влаги из макро– и микрокапилляров [80, 81, 84]. Сторонники коллоидной теории объясняют этот процесс высыханием студенистой дисперсной структуры, характерной для глинистых материалов. Существует также точка зрения, согласно которой усадка обусловлена действием как капиллярных, так и коллоидных механизмов одновременно.

Помимо этих факторов, по мере прогрессирующего удаления влаги возрастает значение межмолекулярных ван-дер-ваальсовых сил, обеспечивающих дополнительное сцепление между частицами твёрдой фазы, что также влияет на характер и интенсивность усадки.

Сайбулатовым С.Ж. предложено деление усадочного процесса на два основных этапа:

начальный, соответствующий удалению так называемой «усадочной воды», сопровождающийся интенсивным уменьшением объёма;

последующий, при котором темп усадки замедляется и начинается процесс удаления поровой влаги, не сопровождающийся значительными деформациями структуры.

Сложность процессов сушки керамических масс обусловлена многофакторностью протекающих явлений и высокой чувствительностью материала к внешним условиям. Это обусловило необходимость разработки методов количественной оценки сушильных свойств. Впервые коэффициент K_r был введён Носовой З.А. для характеристики склонности глинистых масс к образованию трещин в процессе удаления влаги. Впоследствии Беркманым А.С. и Мельниковой Г. установлено: глины с $K_r \geq 0,5$ следует отнести к высокочувствительным к сушке материалам. Значительный вклад в развитие методологии внёс Чижский А.Ф., предложивший способ определения коэффициента чувствительности, применимый к глинам с высокой склонностью к растрескиванию и не требующий использования объемомеров.

Другая методика, разработанная тем же автором, предполагает определение времени, необходимого для появления трещин на поверхности образца при воздействии теплового излучения. Этот способ позволяет более точно учесть динамический характер процесса сушки.

Все перечисленные методы исследования базируются на оценке неравномерности распределения влаги внутри изделия, что определяет его склонность к деформационным дефектам. С технологической точки зрения основным требованием при производстве керамики, особенно стеновых материалов, является предотвращение трещинообразования, вызванного неоднородной усадкой по толщине изделия и градиентом влажности между внешними и внутренними слоями.

Механизмы возникновения трещин, а также условия их формирования и способы предотвращения активно исследуются и сегодня.

Несмотря на достигнутые успехи, в данной области остаётся ряд нерешённых задач, что подтверждает актуальность дальнейших исследований в направлении совершенствования процессов сушки и управления усадочными деформациями.

В последние годы исследования в области технологии керамических материалов сосредоточены на совершенствовании сушильных характеристик масс, с целью повышения технологичности и снижения

дефектности на этапе тепловлажностной обработки. Среди наиболее перспективных направлений можно выделить следующие методы: истощение глин, дегидратация сырья, пароувлажнение, предварительный прогрев, вакуумная обработка, введение добавок – таких как гипс, зола, поверхностно–активные вещества, электролиты; орошение мундштука влагозадерживающими составами, накатка сырца, а также создание пародепрессионных плёнок на поверхности изделий. Все эти методы направлены на снижение сушильной чувствительности и равномерное распределение влаги в массе при сохранении необходимых формовочных и прочностных характеристик.

Как теоретические, так и практические исследования подтверждают, что сушка изделий, полученных методом пластического формования, представляет собой сложный и энергоёмкий процесс, требующий значительных затрат топливно–энергетических ресурсов (газ, мазут, уголь и др.). Высокая влажность, характерная для пластичных масс, обуславливает длительное и строго регулируемое удаление влаги, при нарушении которого возрастает риск образования трещин и деформаций.

В условиях современных энергетических ограничений особую актуальность приобретают исследования, направленные на создание керамических композиций с пониженной чувствительностью к сушке, а также на разработку интенсивных режимов сушки, позволяющих существенно сократить продолжительность данного этапа и снизить затраты на энергоресурсы. Эти задачи являются ключевыми для обеспечения энергоэффективности и стабильности производственного процесса в современной керамической промышленности.

1.5 Анализ технологии производства кирпича с использованием различных добавок

В работе исследовались трепельные и мергельные глины, добытые из Михайловского месторождения в Брянской области. Проведен комплексный анализ глин, который включал изучение их гранулометрического состава, пластичности, чувствительности к сушке и температуре обжига. Для обработки использовалось технологическое оборудование, включая прямоточный сушильный барабан, глиномешалки, вальцы для грубого и тонкого помола, а также вакуум–пресс для формовки изделий. Сначала сырье подвергалось измельчению, затем сушке и далее проводили процесс гомогенизации для достижения однородной структуры и контроля уровня влажности. Формование изделий осуществлялось методом экструзии с соблюдением точных параметров давления и влажности массы. После формовки изделия сушили в туннельной сушилке,

а затем обжигали в туннельной печи при температуре 1100–1200°C, что обеспечивало их прочность и долговечность [74].

Авторами [81] описаны методы улучшения свойств глинистого сырья из Самойловского месторождения для производства стенового кирпича. Основным сырьем служил лессовидный суглинок с высоким содержанием карбонатов, с низкой пластичностью. Для повышения связности смеси и улучшения трещиностойкости образцов в нее добавляли монтмориллонит–гидрослодистую глину из Юмагузинского месторождения и обогащенный каолин. Для осветления цвета и повышения прочности изделий использовался металлургический шлак, а триэтаноламин добавлялся как поверхностно–активное вещество для улучшения сцепления частиц. Сырье обогащали каолином и шлаком для повышения прочности и декоративных качеств обожженных изделий. Материалы тщательно измельчались и просеивались, а для улучшения влагопроводности в них вводили хлорид кальция. После формования изделия сушили и обжигали при температурах от 950 до 1100°C, что способствовало устранению окиси кальция и созданию прочного черепка. Примененные добавки и методы позволили получить прочный, устойчивый к растрескиванию и эстетически привлекательный кирпич светлых тонов, соответствующий высоким эксплуатационным требованиям.

В статье рассматривается использование глин из месторождения Большая Карповка в производстве строительной керамики [82]. Подробно описывается, как различные типы глин, такие как тугоплавкие, огнеупорные, светложгущиеся и красножгущиеся, применяются для улучшения качественных характеристик керамических изделий, включая кирпич. Для производства керамического кирпича используются как местные глины, так и привозные тугоплавкие и огнеупорные глины, которые добавляются для повышения физико–механических свойств продукции. Эти добавки способствуют увеличению прочности, морозостойкости и устойчивости кирпича к капиллярному впитыванию влаги. В статье подчеркивается важность соблюдения определенных пропорций оксидов в составе шихты (например, соотношение $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{SiO}_2$ и содержание плавней оксида калия, натрия и других) для получения качественного керамического кирпича. Также рассматриваются особенности подготовки сырья для производства, включая подбор гранулометрического состава шихты, что имеет значение для процесса формования и сушки. Глины из месторождения Большая Карповка благодаря своим химическим и физическим свойствам позволяют получать кирпичи различных оттенков и типов — от светлых до насыщенно красных и коричневых.

В работе описывается использование низкосортного суглинка (бий-хемского) и цеолитсодержащего песчаника для производства облицовочного кирпича [83]. Суглинок, добываемый в Тыве, имеет недостаточную пластичность и высокое водопоглощение, поэтому для улучшения его характеристик была добавлена цеолитсодержащая порода. Этот песчаник содержит минералы, такие как клиноптилолит и кварц, а также щелочные и щелочно-земельные оксиды, которые действуют как плавни и облегчают процесс спекания при низких температурах. Сначала суглинок и цеолитсодержащая порода измельчались, после чего из полученной смеси формировались образцы методом полусухого прессования. Образцы обжигались при различных температурах — от 1000°C до 1100°C. Исследование показало, что с увеличением доли цеолитсодержащей породы до 50% значительно улучшаются прочностные характеристики и снижается водопоглощение, что позволяет образцам соответствовать требованиям ГОСТа для облицовочного кирпича.

В работе [84] исследуется использование пресс-порошков, изготовленных из опоковидных пород, для производства керамических стеновых изделий методом компрессионного формования. Опоки представляют собой породы, содержащие опал, кварц, глинистые минералы и другие компоненты, которые используются для создания пресс-порошков. В процессе подготовки этих порошков измельченные частицы опок формируют зерна и гранулы, которые связываются между собой благодаря различным взаимодействиям и влаге. Высокая пористость частиц (до 55%) способствует выравниванию влажности и удалению воздуха во время прессования, что снижает риск возникновения дефектов. Структурные и фазовые характеристики пресс-порошков на основе опок значительно отличаются от аналогичных характеристик глиняных порошков. Порошки из опок имеют меньшую плотность (700–1100 кг/м³), высокую пористость и уникальную структуру, что требует оптимизации зернового состава для повышения плотности и улучшения качества конечных изделий.

Также была разработана технология модификации кирпичных суглинков с использованием многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) для улучшения характеристик стеновой керамики [85]. Нанотрубки добавляются в глинистую массу в виде дисперсий с использованием растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ), таких как модификатор от компании Аркема (сополимер акрилового поликарбоксилата и полиэтиленгликоля). Добавка применяется в количестве 0,01–0,1% от массы сырья, что позволяет укрепить микроструктуру керамики и повысить прочностные свойства после обжига при температуре около 1000 °C. Лабораторные исследования показали, что

использование МУНТ увеличивает прочность изделий на 38,6%, снижает водопоглощение, улучшает морозостойкость и сокращает время сушки, что повышает энергоэффективность производства. Экспериментальная проверка проводилась на полнотелом керамическом кирпиче из глины Яушского месторождения с добавлением кварцевого песка и опилок. В результате модификации марка кирпича возросла с М100 до М175, что значительно увеличивает его устойчивость к нагрузкам и долговечность при одновременном снижении экологической нагрузки за счет уменьшения потребности в многотоннажных добавках и транспортировке.

В работе [86] представлены разработки новых видов керамических строительных материалов, которые обеспечивают теплоизоляцию и экологичность. Основой для производства таких материалов служат кремнистые породы, такие как опока, трепел и диатомит, содержащие активный кремнезем. При обжиге в температурном диапазоне 650–750 °С эти породы выделяют углекислый газ, что приводит к образованию пористой структуры и снижению плотности изделий до 200–800 кг/м³, а также улучшению их теплоизоляционных свойств. В статье особое внимание уделяется производству керамического кирпича. Для этого используется сырье на основе кремнистых пород в сочетании с глинами и суглинками, что позволяет достичь плотности кирпича от 750 до 1300 кг/м³ и прочности при сжатии до 25 МПа. Применение компрессионного формования обеспечивает более плотную структуру и высокие прочностные характеристики, а также позволяет варьировать пористость: при пористости 10–15 % плотность кирпича снижается до 1000 кг/м³, а при 43 % — до 750 кг/м³. Это делает материал морозостойким, долговечным и подходящим для строительства энергоэффективных стен. Таким образом, предложенные технологии позволяют создавать легкие, прочные и теплоэффективные керамические материалы, которые снижают затраты на строительство и эксплуатацию зданий, улучшая их экологические характеристики и теплоизоляционные свойства.

В работе исследуется использование сталеплавивых шлаков (СШ) для улучшения характеристик керамического кирпича [87]. В качестве основного сырья применялись два типа легкоплавких суглинков из Маркинского и Октябрьского месторождений. Для модификации керамической массы добавлялись два вида шлаков (СШ–1 и СШ–2), получаемых в процессе электрометаллургического производства. Перед формованием кирпичных образцов шлак СШ–1 предварительно измельчали и просеивали, тогда, как шлак СШ–2 с зернами менее 1 мм использовался без измельчения. Шлаки вводились в керамическую массу в пропорциях от 15 до 25 % от общего объема; затем образцы сушили при

комнатной температуре и в сушильном шкафу перед обжигом при температуре 1000 °С с изотермической выдержкой в течение одного часа. Испытания показали, что добавление шлаков СШ–2 повышает прочность кирпича как при сжатии, так и при изгибе, улучшает морозостойкость (до 47 циклов) и снижает водопоглощение до 13–19 %. Кроме того, добавление шлака изменяет цвет черепка с красного на светлый (желтый или бежевый) за счет снижения содержания гематита в структуре кирпича, что улучшает его эстетические качества.

В работе исследуется влияние промышленных отходов — золошлаковых отходов, древесных опилок и остеклованных микросфер (ОМС) — на свойства керамического кирпича из глины Краснореченского месторождения [88]. Золошлаковые отходы и древесные опилки, добавляемые в объеме 12–15 % от массы сырья, способствовали снижению усадки, повышению пористости и улучшению теплоизоляционных характеристик кирпича, однако древесные опилки снижали прочность из-за образования неоднородной пористости. Наиболее эффективными оказались остеклованные микросферы, которые при добавлении 20–25% улучшали теплоизоляцию и морозостойкость, уменьшали водопоглощение и способствовали формированию прочного алюмосиликатного каркаса при обжиге. Эти изменения обеспечили керамическому кирпичу прочность 15–20 МПа, плотность около 1400 кг/м³ и водопоглощение на уровне 12%, что соответствует требованиям для марок кирпича 150–200.

Авторами исследовано использование различных методов и оборудования для улучшения процесса сушки керамического кирпича [89]. Применялись методы конвективной сушки, при которой горячий воздух удаляет влагу из кирпича–сырца; инфракрасной сушки, ускоряющей процесс за счет излучения; и сушки перегретым паром для равномерного испарения влаги. Наиболее эффективно показала себя туннельная сушка, при которой кирпич–сырец на вагонетках проходит через туннель, где автоматически контролируются температура и влажность. Основное оборудование включало туннельные сушилки, обеспечивающие непрерывный процесс и равномерное нагревание, а также воздушные завесы для предотвращения расслоения теплоносителя. Эти завесы позволяют поддерживать равномерный поток тепла и влажности на всех уровнях сушильного туннеля. Дополнительно контролировались параметры температуры и давления, чтобы предотвратить пересушивание поверхности изделия и обеспечить равномерное испарение влаги. Определены коэффициенты тепло– и массоотдачи, которые учитывались при расчете теплового баланса и помогали оптимизировать режим сушки в зависимости от состава и влажности сырья. Эти подходы обеспечили

высокую эффективность сушки, снижая энергетические затраты и улучшая качество и прочность готового керамического кирпича.

В работе представлены результаты использования техногенного сырья для производства керамического кирпича [90]. В качестве компонентов смеси применялись горелые породы из шахтных отвалов, которые способствовали повышению прочности и снижению усадки кирпича. Эти породы предварительно дробили до фракций 0–3 мм перед добавлением в шихту. Кроме того, использовались золошлаковые отходы, выполнявшие роль отошающей добавки и улучшающие гранулометрический состав смеси, что повышало её пластичность. Золошлаковая смесь подсушивалась и вводилась в состав без дополнительной обработки. Смесь техногенного и глинистого сырья доводили до необходимой влажности, формовали образцы, которые затем сушили и обжигали при температуре до 970 °С. Испытания показали, что введение техногенного сырья снижает коэффициент чувствительности к сушке на 39,9% и уменьшает усадку на 53,5%. Прочностные характеристики изделий после обжига соответствовали маркам М200–М250. Производственные испытания на заводе подтвердили, что керамический кирпич из таких смесей обладает хорошей формой, высокой прочностью и морозостойкостью (марка F50).

Использование техногенного сырья позволило улучшить физико–механические свойства кирпича и снизить негативное воздействие отходов на окружающую среду.

1.6 Анализ влияния добавок на процессы структурообразования керамики

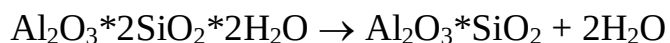
Характер термических изменений, происходящих в глинах при их нагревании, определяется составом содержащихся в них глинистых минералов и различного рода примесей. Процесс термического преобразования глин условно делится на несколько стадий: удаление влаги при низких и высоких температурах, перестройка кристаллической решётки, а также трансформации, характерные для высокотемпературного диапазона.

Первые фазовые преобразования в глинистых материалах начинаются примерно при 600 °С и сопровождаются аморфизацией глинистых компонентов. В этот момент глинистые минералы утрачивают связанную в их структуре воду. При дальнейшем нагреве, когда температура достигает 800 °С и выше, материал становится однородным

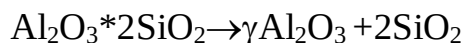
по своим свойствам (изотропным) и содержит отдельные стекловидные включения.

При обжиге, превышающем 1000 °С, начинаются химические реакции между оксидами железа, глинозёмом и кремнезёмом, в результате которых формируются новые соединения.

Преобразование глинистых минералов под воздействием температуры подробно изучалось многими исследователями, как в России, так и за рубежом. Согласно общепринятому мнению, в процессе термического обезвоживания каолинит подвергается структурной трансформации, результатом которой становится метакеолинит — аморфная фаза, утратившая упорядоченность кристаллической решётки исходного минерала.



К примеру, Будников П.П. описывает термические преобразования каолина следующим образом: на первом этапе обжига, который преимущественно протекает при температуре в диапазоне 500–550°С, происходит удаление воды из его структуры в результате реакции дегидратации.



В температурном диапазоне 800–900°С метакеолинит начинает разлагаться на оксидные компоненты, при этом сохраняется внешняя морфология исходного каолинита. При дальнейшем повышении температуры до 950–1000°С происходит образование γ -фазы оксида алюминия (глинозёма), что сопровождается выраженным экзотермическим эффектом. При нагревании в пределах 1150–1250°С начинается химическое взаимодействие оксида алюминия и диоксида кремния, в результате чего формируется муллит, а также свободный кремнезём, представленный в виде минерала кристобалита.



Процесс образования кристобалита сопровождается слабо выраженным экзотермическим эффектом. Что касается природы экзотермической реакции, наблюдаемой в интервале температур 900–1050°С, в научной литературе имеются различные точки зрения. Одни исследователи связывают этот эффект с началом кристаллизации

γ -глинозёма, в то время как другие полагают, что его причиной является формирование муллита. Второй экзотермический пик, фиксируемый при температурах от 1150 до 1390°C, большинство специалистов объясняет именно образованием муллита.

Тип фаз, формирующихся в результате нагрева выше температуры проявления экзотермического эффекта (включая муллит, γ -глинозём, шпинель, кристобалит и стеклообразные компоненты), определяется степенью дисперсности, особенностями структуры исходного глинистого вещества, продуктами его дегидратации, а также присутствием примесей.

Так как состав глин по содержанию оксидов может значительно варьироваться, реакции, происходящие при термической обработке, соответствуют определённым химическим системам. В связи с этим требуется детальное рассмотрение каждой из таких систем по отдельности.

Наибольший интерес представляет собой система оксид алюминия–диоксид кремния, в которой образуется вид кристаллического соединения, известное, как муллит. Его состав может колебаться, при этом между этими крайними составами образуется непрерывный ряд твёрдых растворов, обогащённых глинозёмом.

Различают несколько типов муллита в зависимости от содержания в нём оксида алюминия: при количестве 71,68% оксида алюминия фазу называют α -муллитом, при более высоком содержании — β -муллитом. По мере повышения температуры муллит способен поглощать всё большие количества глинозёма, однако при кристаллизации формируется другое соединение.

При температуре около 1380 °C некоторые полученные соединения образуют эвтектическую смесь. Согласно результатам термодинамических расчётов, при соотношении 1:1, наиболее устойчивая фаза алюминат, так называемый монокальциевый. Показаны показатели стабильности соединений при соотношениях = 3:1, 12:7, 1:1 и 1:2, что хотя в каждом любом варианте он остаётся только при соотношении 1:2.

Система пероксид кальция–диоксид кремния (рисунок 1) вызывает наибольший интерес в контексте утилизации высококальциевых промышленных отходов.

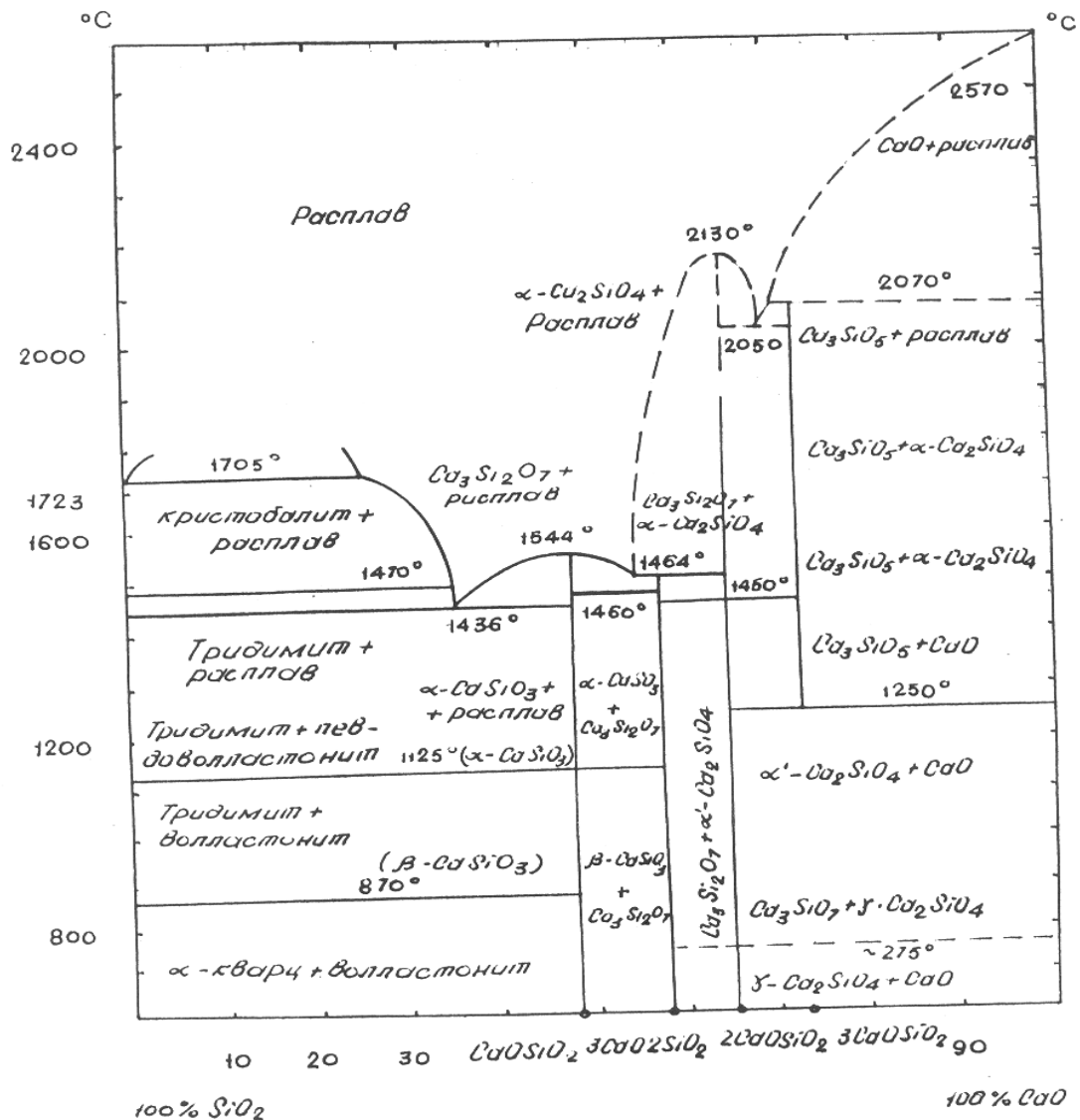


Рисунок 1 – Система CaO – SiO₂

Согласно представленной кривой, в рассматриваемом диапазоне существуют 4 соединения: метасиликат кальция трёхкальцевый дисиликат, двухкальцевый силикат. Минералы этой системы присутствуют во множестве силикатных материалов, таких как портландцементный клинкер, огнеупорные изделия, шлаки чёрной металлургии и других, где они могут быть представлены минералами, такими как ранкинит, бредегит, ларнит, псевдоволластонит, волластонит.

Имеет место зона получения 2-х жидких сред, происходящая при термообработке, содержащих до 28% оксида кальция.

Метасиликата кальция, образующегося при температурах около 870°C, имеет место в модификациях: α-CS и β-CS. Форма β-CS при 1125°C может преобразовываться в α-CS.

Термодинамические особенности твердофазовых реакций в рассматриваемых выше системах были подробно исследованы в работе [91]. Показаны результаты по термодинамической стабильности фаз, где происходит увеличение данного показателя. Работы, проведённые вышеупомянутыми учеными, составляют основу для дальнейшего анализа процессов структурообразования в различных керамических материалах.

Фазовые преобразования в керамических массах являются сложными и многогранными процессами. Вопросам спекания силикатных материалов, включая керамику, посвящены фундаментальные работы [92, 93].

Если рассматривать процесс спекания в общем контексте, стоит отметить, что в получении керамики выделяют два типа спекания: в твердой фазе (без присутствия жидкости) и жидкостное спекание. Характер протекания этих процессов и их закономерности различаются.

Спекание в твердой фазе включает процессы переноса вещества, что приводит к образованию и увеличению контактов между частицами, а также изменению объема и формы пор. Перенос вещества может происходить через вязкое течение по Френкелю Я.И., объемную диффузию по Пинесу Б.Я., поверхностную самодиффузию, пластическое течение и другие процессы, связанные с изменениями поверхностной энергии вещества при нагревании. Степень завершенности твердофазовых реакций зависит от размеров и формы частиц, а также дефектов в кристаллической решётке.

С увеличением температуры возрастает объемная диффузия, а также может возникать фаза жидкой составляющей за счёт появления эффектов, за счет чего масса быстро спекается. Полученный расплав представляет собой микрогетерогенную структуру, служит связующим звеном между зёрнами. Жидкая фаза, которая формируется, также способствует кристаллизации новых фаз.

Вопросы термического разложения минеральных составляющих глин и особенностей формирования муллита исследовали известных учёных, среди которых Земятченский П.Н., Будников П.П., Августиник А.И. и другие.

Согласно результатам их исследований, основными факторами, способствующими ускорению химических реакций в твердой фазе традиционно являются повышение температуры, увеличение давления, рост концентрации активных компонентов, введения добавок, а также процессы атомно-молекулярной перестройки и кристаллизации.

При интенсификации термических стадий обжига керамических материалов необходимо учитывать особенности химических компонентов сырьевой смеси. В частности, реакции между твердыми фазами протекают, как правило, медленно и зачастую полностью в пределах стандартных технологических режимов. Даже в условиях применения тонкодисперсных

порошков с поверхностью, скорость твердофазных реакций остаётся относительно низкой, что требует тщательного подбора условий таких воздействия, времени и состава смеси для достижения полной конверсии и формирования целевых фаз, включая муллит.

Роль в достижении нужных температур имеют такие факторы, как методы подачи тепла, конструкция печи, а также физические характеристики как теплоёмкость и теплопроводность, и термические эффекты, связанные с кристаллизацией.

Многие исследователи отмечают, что выделяющееся тепло в экзотермических реакциях может быть достаточным для нагрева смеси до температуры плавления исходных веществ или их эвтектик, а также для образования соединений или примесей. Исходя из этого, необходимо разрабатывать ресурсосберегающие технологии для производства керамики.

В последнее время большое внимание уделяется созданию энерго- и топливосберегающих технологий в производстве строительной керамики.

Этого можно достигнуть путем включения разных добавок, которые вводятся в смеси для понижения термической обработки, улучшения характеристик продукции и увеличения их

Несмотря на огромное разнообразие составов, характеристик исходных материалов, имеются общие положения при создании продукции: терморазложение элементов исходных материалов; различные изменения материалов во время обжига; растворение твердых частиц в образующемся расплаве во время обжига и многие другие.

1.7 Проблемы и перспективы использования суглинков для производства керамических материалов

Применение промышленных отходов в строительстве рассматривается как один из эффективных способов решения актуальной экологической задачи – снижения загрязнения окружающей среды.

Многочисленные научные исследования, выполненные как отечественными, так и зарубежными специалистами, подтверждают, что одним из перспективных направлений утилизации золы и других отходов является их использование в технологии получения композиционных материалов, включая стеновую керамику.

Ряд исследователей, анализирувавших возможность применения золы тепловых электростанций в производстве кирпича, отмечают положительное влияние её добавления в формовочные массы: повышается прочность изделий на одну–две марки, улучшается морозостойкость, а также снижается потребность в традиционных добавках, таких как опилки или шамот, либо они могут быть полностью заменены золой [94, 95].

Авторы подчёркивают, что в ряде случаев эффект от добавления золы сравним с воздействием дегидратированной глины, а иногда и превосходит его, что выражается в повышенной прочности черепка.

Исследования, направленные на оценку возможности использования зол ТЭЦ и отходов углеобогащения, показали, что при содержании в золах горючих остатков менее 10% они выступают как отошающие добавки, а при более высоком содержании — как выгорающие компоненты.

За рубежом проводят активные разработки технологий по получению строительных материалов [96, 97].

Во ВНИИСтром имени Будникова проводились исследования зол Томской и Кемеровской ТЭЦ с низким содержанием несгоревшего топлива, рассматриваемых в качестве сырья для производства стеновых керамических изделий. Для повышения прочности применялись различные связующие: растворимый стекломатериал, фосфатные композиции, глины и отходы с углеобогащительных заводов.

На кафедре керамики и стекла Киевского политехнического института под руководством Ралко А.В. проведены исследования по созданию керамических изделий на базе золы Трипольской ГРЭС и жидкого стекла, а также изучены их физико-механические свойства.

В течение более десяти лет в Университете Западной Виргинии (США) велась разработка технологии получения керамических стеновых изделий из золы уноса. На основании этих разработок в 1972 году в городе Эдмонд (Канада) иностранной компанией был построен завод по производству кирпича методом полусухого прессования и последующего обжига, выпускающий продукцию различных цветов.

Американская компания «Текоledi корп» также проводила эксперименты по использованию разнообразных промышленных отходов — летучей золы, литейных песков, асбестосодержащих остатков, топочных шлаков и других — в производстве строительной керамики.

С 1973 года Алматинским НИИСтромпроектом велись комплексные исследования по созданию и внедрению технологии новых стеновых изделий, получивших название «золокерама». Основа технологии — пластическое формование с применением глиняного порошка в качестве пластифицирующего компонента.

В Великобритании был запатентован способ производства кирпича с использованием золы тепловых электростанций в сочетании с одним или несколькими минеральными связующими. В состав сырьевой смеси входит: зола (95,5 %), глина (4,2 %), дикстрина (0,3 %). Процесс обжига осуществляется при температуре около 1150 °С. Полученные изделия характеризуются прочностью на сжатие в диапазоне от 6 до 11 МПа.

Влияние никелевых гранулированных шлаков Казахстана, РФ на свойства кирпича было предметом исследований Тумашова В.Ф.

На Харьковском заводе по производству кирпича были изготовлены высококачественные напольные плитки размером $200 \times 200 \times 11$ мм.

В НИИСтройкерамике (Московская область) проведены исследования по применению фосфорных шлаков в производстве фасадной керамической плитки. Сырьевая смесь, включающая глину (85%) и шлаки (15%), после обжига при температуре до 1050°C покрывалась глазурью и подвергалась повторному обжигу при $1000\text{--}1010^\circ\text{C}$. Полученные плитки отличались высокой морозостойкостью (более 200 циклов) и водопоглощением (7,5%).

В Алма-Атинском НИИСтромпроекте проводились исследования по созданию семищелевых керамических камней с применением литого фосфорного шлака, полученного на Джамбульском заводе двойного суперфосфата. Основу сырьевой смеси составляли пластичная монтмориллонитовая глина из Акмолинского месторождения и суглинки, добытые на карьере Кустанайского кирпичного завода. Оптимальные пропорции компонентов подбирались в ходе экспериментальных работ, с варьированием долей глины и шлака.

В научной лаборатории строительных материалов Таразского государственного университета имени Х. Дулати была проведена комплексная работа по разработке технологии производства стеновой керамики, лёгких заполнителей для бетонов и материалов со стеклокристаллической структурой из местного сырья и промышленных отходов. Полученные образцы отличались улучшенными физико-механическими и технологическими характеристиками. Исследователи установили, что шлак выполняет двойную функцию: как пламень, повышающий объем жидкой фазы, и как армирующий элемент, благодаря игольчатой структуре кристаллов псевдоволластонита.

Параллельно в Ташкентском НИИСтромпроекте велась разработка керамических составов для получения высокопрочных лицевых изделий на базе фосфорных шлаков Чимкентского завода фосфорных солей. В качестве пластифицирующего компонента применялась каолиновая глина, добытая в Ангренском месторождении.

В Узбекском институте химии, руководителем которого М.Н. Набиева, выполнены исследования, посвящённые разработке технологии производства керамической плитки с применением фосфорных шлаков в качестве сырьевого компонента.

Боженковым П.И. и др. предложен независимый состав сырья для производства строительной керамики, включающей облицовочный кирпич, плитку, блоки и трубы. Формовочная масса содержит от 20 до 60% фосфорного шлака и от 40 до 80% отходов переработки боратовых руд. Изделия из такого сырья демонстрируют высокую прочность на сжатие ($710\text{--}1260\text{ кг/см}^2$) при низкой температуре обжига — около 900°C .

В 1980–е годы Алма–Атинским НИИСтромпроектом исследованы шлаки электротермофосфорного производства в качестве основного компонента для стеновой керамики. В работе применялись шлаки предприятия «Фосфор» (г. Чимкент), а также глина из Ангренского месторождения и суглинков Чимкентского района. Шлак предварительно измельчался до мелкодисперсного состояния, а масса формовалась пластическим способом. В лабораторных образцах содержание фосфорного шлака достигало 70–85%, а глины — 15–30%. Обжиг производился при температуре 950–1050 °С, а полученные изделия характеризовались следующими свойствами: воздушная усадка (2,8–3%), огневая (1,8–2,4%), водопоглощение (9,8–13,3%), прочность при сжатии (37,8–58) МПа.

В Ташкентском НИИСтромпроекте разработан состав для облицовочных плит, включающий 40–45% фосфорного шлака, 3–6% бой плиток, 0,5–1,0% кальцинированной соды и 51,5–54,5% гидрослюдисто–каолиновой глины. Плитки сушат при 240 °С до остаточной влажности 0,2–0,4%, $T_{\text{обж}}=840$ °С, достигая водопоглощения 11,8–13,9%.

Садыковой С.А. проведено исследование в области кристаллизации минералов в черепке продукта, изготовленном из смеси суглинков Азии средней полосы с добавлением фосфорного шлака и глины месторождения Ангрены. При этом содержание фосфорного шлака колебалось в пределах 10–30%, а глины – от 10 до 15%.

Многочисленные научные работы подтверждают высокую эффективность применения в керамической технологии различных плавней, таких как перлит, нефелинсодержащие породы, полевые шпаты и пегматиты, обладающие значительным содержанием щелочных оксидов. Введение материалов с оксидом кальция в состав шихты способствует ускорению процесса спекания, снижению температуры плавления и сужению температурного интервала спекания.

В последние годы особое внимание уделяется изучению использования природного или синтетического волластонита в качестве добавки в плиточные массы. Введение 20% волластонита позволяет значительно уменьшить усадку изделий при сушке и обжиге, снизить влажностное расширение и повысить прочностные характеристики керамического черепка. При термическом воздействии часть волластонита взаимодействует с продуктами разложения глинистых компонентов, образуя анортит и кристобалит, что дополнительно способствует укреплению структуры и улучшению прочности конечного изделия.

Отсутствие волластонита, высокие цены на продукцию затрудняют его широкое применение. В связи с этим ведут исследования сырья по процессу его синтеза во время обжига продукции.

Таким образом, использование высокоосновных силикатных материалов, таких как фосфорные шлаки, золы ТЭЦ и отходы вскрышных

пород, является перспективным направлением в производстве керамических материалов. Эти материалы обладают повышенным содержанием оксида кальция, что способствует улучшению технологических свойств керамических масс и снижению температуры обжига.

1.8 Использование нефтешламов в строительной индустрии

Нефтешламы находят перспективное применение в сфере производства строительных материалов. Эти отходы нефтепереработки рассматриваются как альтернативное сырьё, позволяющее не только утилизировать экологически опасные вещества, но и снизить себестоимость готовой продукции. Включение нефтешламов в состав строительных смесей способствует упрочнению изделий, улучшает физико–механические характеристики, а также уменьшает потребление традиционного минерального сырья. Благодаря этим качествам, переработанные нефтешламы всё чаще рассматриваются как ценный компонент при производстве цемента, кирпича и других строительных изделий.

Многие отечественные и зарубежные нефтяные компании не проявляют заинтересованности в переработке нефтешламов из-за объективных и субъективных причин. Основное препятствие заключается в необходимости самостоятельно разрабатывать технологии глубокой переработки этих отходов, что требует создания новых производственных мощностей, значительных финансовых вложений и переподготовки кадров для работы с инновационными методами. В связи с этим нефтешламы чаще всего рассматриваются как отходы, передаваемые сторонним организациям для утилизации, преимущественно путём сжигания, учитывая их высокую горючесть благодаря содержанию углеводородов (нефти, парафина, смол, асфальтенов).

Тем не менее, с учётом их энергетического потенциала, нефтешламы могут использоваться как вторичное сырьё и модифицирующий компонент в других отраслях. Однако отсутствие прикладных научных разработок затрудняет внедрение таких решений. В результате хранение и сжигание нефтешламов продолжают вызывать экологические проблемы. Исследования, проведённые в Вильнюсском техническом университете, подтвердили возможность использования нефтешламов в производстве керамики, где они способствуют улучшению структуры и свойств изделий.

В исследовании авторами рассмотрено применение отработанных моторных масел в сочетании с кварцевым песком в качестве модификатора глинистого сырья для получения лёгких заполнителей [98]. Добавление всего 1% этих отходов способствовало увеличению газообразования,

улучшению вспучиваемости и прочности, а также снижению температуры вспучивания.

Нефтешламы, как показывают работы, можно эффективно использовать в различных отраслях, получая при этом экологические и экономические выгоды [99]. Ряд исследований демонстрирует возможность извлечения из нефтешламов полезных продуктов — нефти, топлива и строительных материалов [100–103]. Также имеются разработки специализированного оборудования для извлечения остаточной нефти и последующего применения твёрдого остатка в дорожном строительстве.

Сектор производства строительных материалов остаётся ключевым в экономике, однако отличается высоким потреблением энергоресурсов. Такие производства, как выпуск кирпича, цемента и керамзита, требуют высокотемпературного обжига.

При бурении нефтяных и газовых скважин образуются огромные объёмы бурового шлама, наносящие вред окружающей среде. После нейтрализации такой шлам может использоваться в производстве строительных материалов.

Технико–экономическое обоснование создания установки для ресурсосберегающей переработки нефтешламов позволяет максимально эффективно извлекать нефть и перерабатывать остатки. Прогресс в нефтяной отрасли напрямую связан с внедрением энергоэффективных и экологически безопасных технологий. Несоблюдение этих принципов ведёт к экологическим и ресурсным потерям, что подчёркивают международные стандарты ISO 14000.

Тем не менее, нефтяные компании продолжают нести значительные убытки от аварий и утечек. Это указывает на необходимость совершенствования технологий обнаружения и ликвидации разливов, а также эффективной переработки шламов. Объём ежегодно разлитых углеводородов требует внедрения экономически доступных и экологически безопасных технологий очистки.

Выводы по главе 1.

На основе анализа материалов, посвящённых производству керамзита и керамического кирпича, можно выделить следующие основные выводы:

1. В процессе разработки ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий изготовления керамзита и строительной керамики наблюдается расширение использования нетрадиционных видов сырья, включая промышленные отходы. Это обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований с учётом специфики и свойств применяемых материалов.

2. Главная направленность научных исследований в области производства керамзита и керамического кирпича сосредоточена на

улучшении физико–механических характеристик и технологических параметров конечной продукции.

3. В литературных источниках отмечается недостаточная изученность применения некондиционных лессовидных суглинков месторождений ЗКО в качестве базового сырьевого материала для выпуска керамзита и кирпича.

4. Установлено современное состояние актуального направления исследований, касающегося повышения энергоэффективности технологии производства строительных материалов. Актуальность в настоящее время приобретает производство строительных материалов, в технологическом процессе которого обязательно требуется высокотемпературный обжиг (производство керамического кирпича, керамзита, цемента, извести и т.д.).

5. Проведен анализ и установлено современное состояние по утилизации нефтяных шламов для производства строительных материалов. При этом имеются актуальные исследования направленных на разработку технологии производства строительных материалов с использованием нефтешлама в области производства асфальтобетонов, по использованию их в качестве гидроизоляционного слоя при строительстве дорожного полотна, в качестве использования их как гидрофобной добавки для бетонов и т.д.

6. Литературный анализ показал, что отсутствует исследования по использованию нефтешламов как энерговыделяемого и модифицирующего компонента в технологии производства керамзита, керамических стеновых материалов на основе лессовидных суглинков.

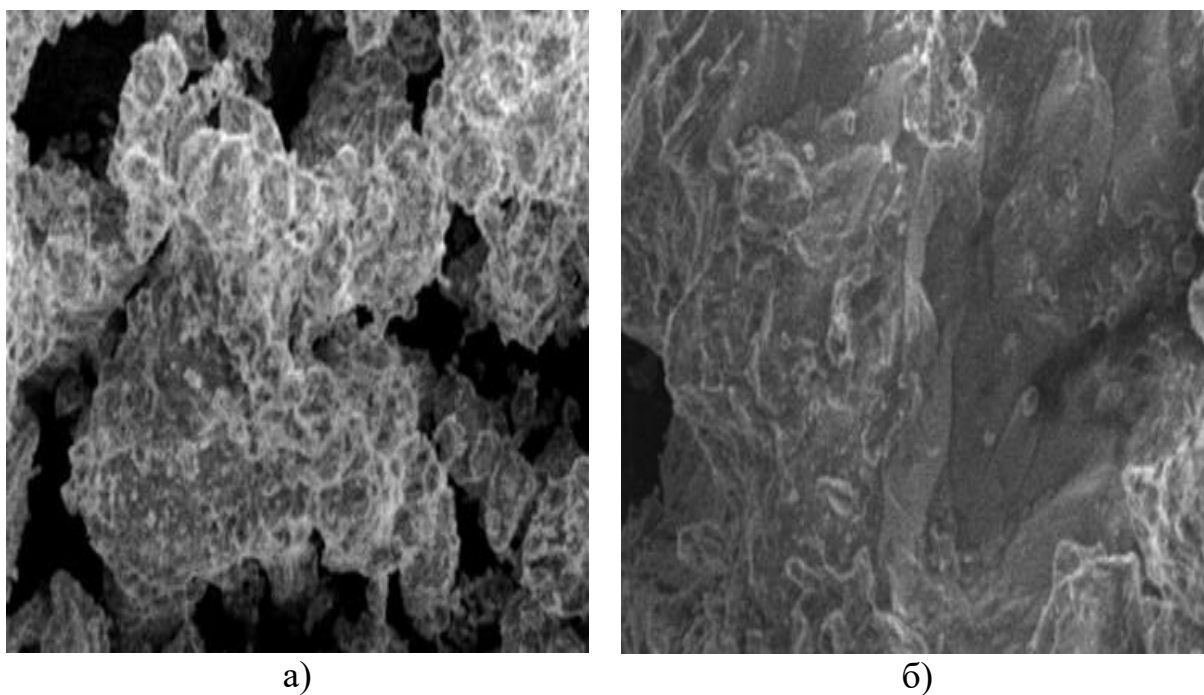
7. Применение техногенных отходов и вторичных ресурсов способствует не только снижению издержек производства, но и оказывает положительное влияние на экологическую обстановку. Использование энергосберегающих технологий и заменителей традиционных материалов помогает значительно сократить выбросы углерода и повысить экологическую устойчивость производственных процессов.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика сырьевых материалов

2.1.1 Лессовидный суглинок

Для исследований по получению керамзита и керамического кирпича выбран лессовидный суглинок Чаганского месторождения Западного Казахстана. Микроструктура представлена на рисунке 2.



а) X750; б) X1000

Рисунок 2 – Микроструктура лессовидного суглинка в различных увеличениях

Как видно из рисунка 2 представленная микроструктура основного сырья пористая, присутствует до 50 % пор.

Химический состав суглинка показан в таблице 1. Характеристики рассматриваемого сырья: кислое, легкоплавкая глина, содержание оксида железа к сырью соответствует высокому содержанию красящих веществ.

Таблица 1–Химический состав суглинка

Сырье	Содержание, мас. %												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	F	SO ₃	CO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
Суглинок	55,2	14,4	–	13,1	3,0	7,4	–	–	2,7	–	–	2,5	11,6

Дериватограмма образца суглинка представлена на рисунке 3.

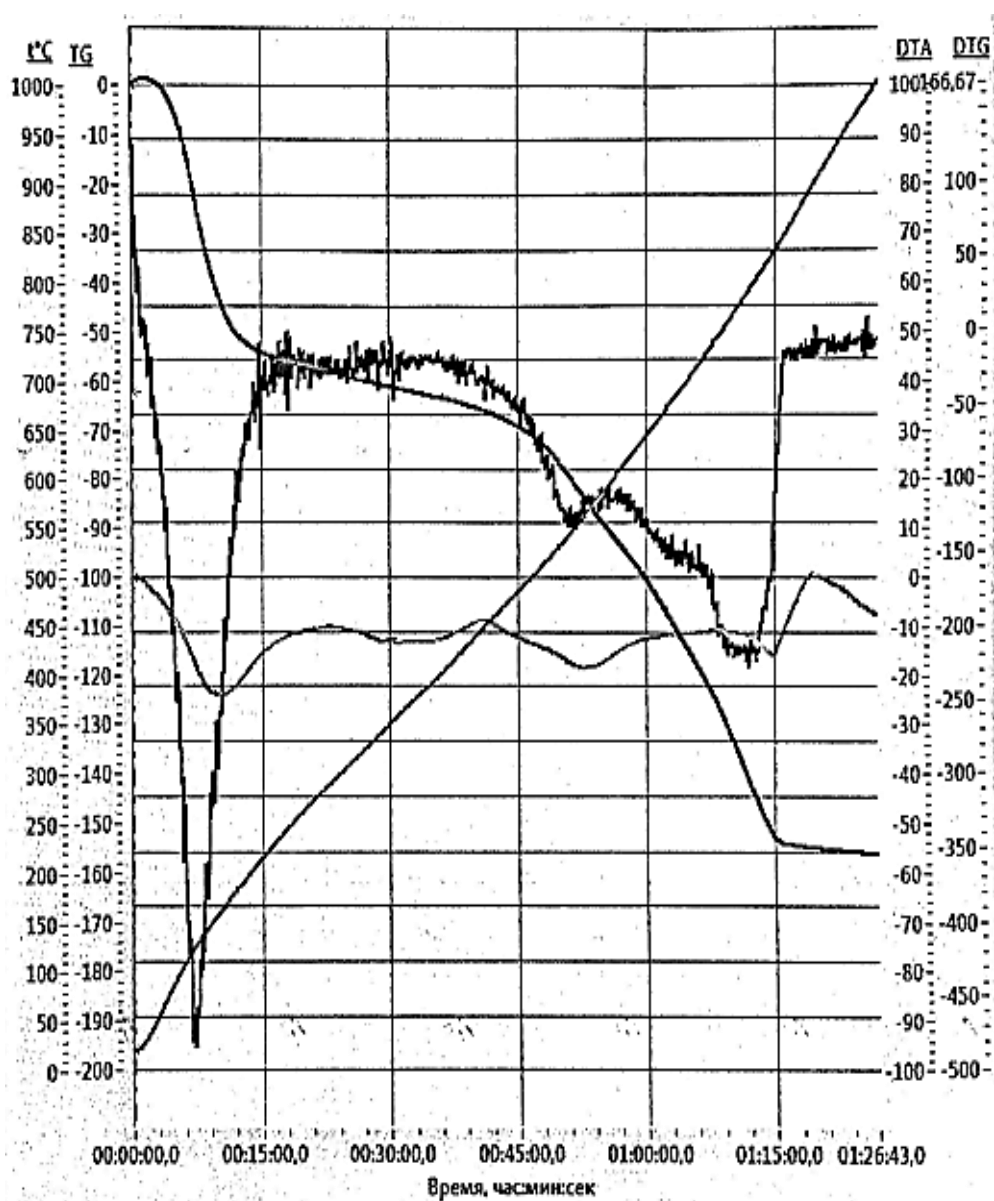


Рисунок 3 –Дериватограмма суглинка

На кривых ДТА, при температуре 1000°C видны выраженные экзо- и эндотермические эффекты.

Эндотермоэффект при T=150°C, 425°C и 835°C. Эвтектики при 165°C связаны с образованием воды, при T=425°C происходит выпаривание воды, при T=835 °C эндоэффект связан сопровождается отделением кальцита и выходом CO₂. При температуре более 1000°C виден эндоэффект, так как вода испаряется при T=1150°C, способствуя поровыделению керамической массы. При экзотермическом эффекте T=65°C и 455°C происходит выгорание имеющихся органических включений. При температуре 915°C происходит экзоэффект, образуются новообразования. На кривой ТГ при температуре 375°C имеется перегиб, на кривой DTG в интервале температур 225°C и 475°C виден пик, который указывает на малую скорость протекания.

В соответствии с кривой ТГ потери веса образца суглинка составляет 13 %; коэффициент корректировки значения DTG составляет 0,0022 мг/мин; окончательное значение ТГ равно 156,2 мг; минимум, рассчитанный кривой DTG – 9,7 мг/мин.

Суглинок состоит из 12 % монтмориллонитового компонента, со смешанным образованием с гидрослюдой, каолинитом. На рисунке 4 показана рентгенограмма суглинка.

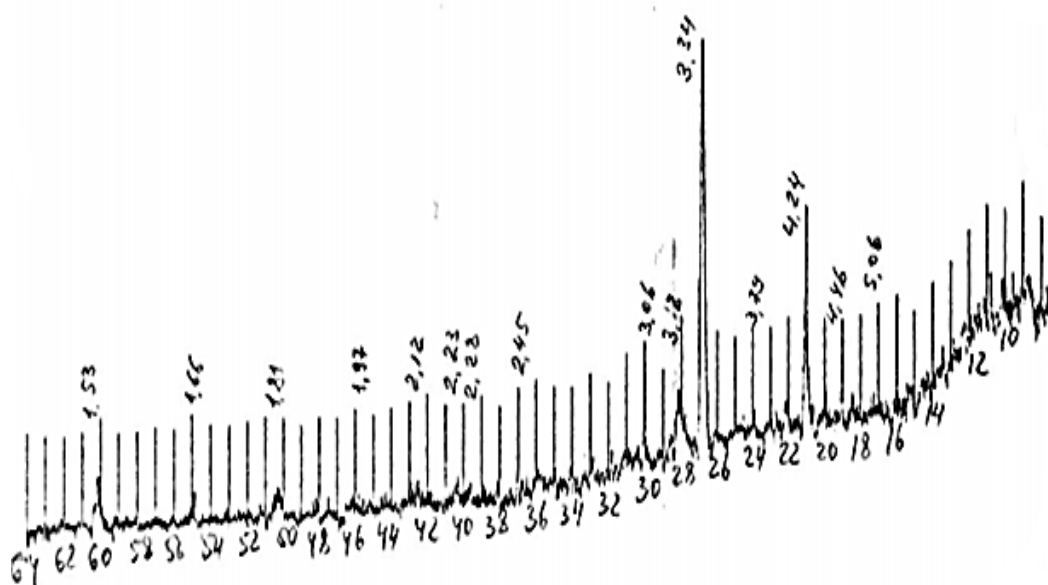


Рисунок 4 – Рентгенограмма суглинка Чаганского месторождения

Из кристаллических фаз в глине также содержится кварц, шпат, кальцит и гематит.

2.1.2 Мелкозернистый песок Бокейординского месторождения ЗКО

Мелкозернистый песок выбран с целью добавления в конгломератную смесь с нефтешламом при производстве керамзита. Рентгенофазовый анализ песка (рисунок 5) показал, что в нем содержатся SiO_2 , полевой шпат, CaCO_3 .

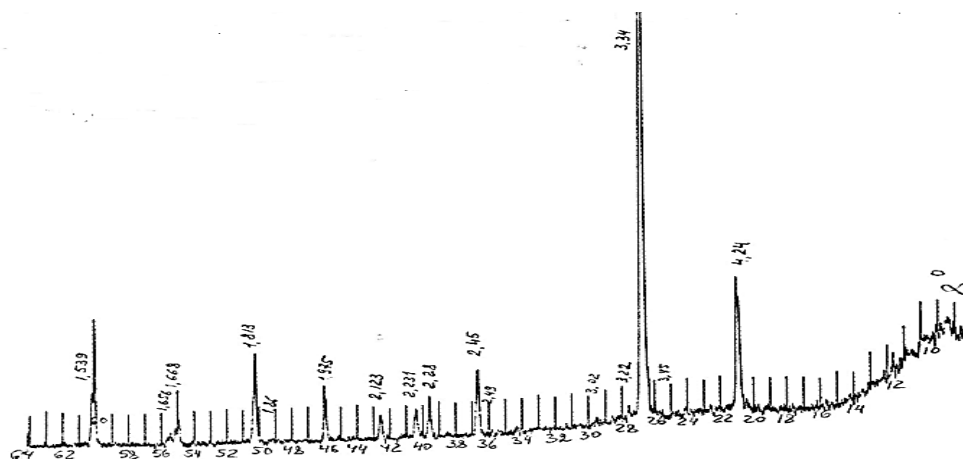


Рисунок 5—Рентгенограмма песка Бокейординского месторождения

Зерновой состав песков, физические характеристики и химический состав показаны в таблицах 2, 3, 4.

Таблица 2 – Зерновой состав песков

Название месторождения	Остаток на ситах	Размер ячейки, мм.					
		5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14
Бокейординское	частные	0	0	0	0	0,38	49,8
	полные	0	0	0	0	0,2	49,62

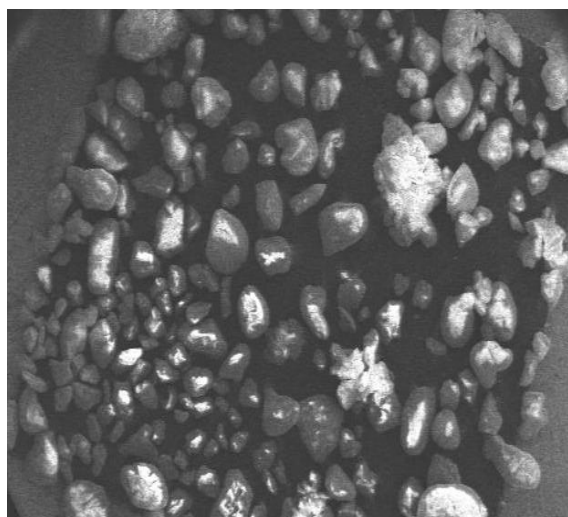
Таблица 3 – Физические характеристики песков

№	Наименование показателей и единиц измерения	песок
1	Насыпная плотность, ρ_n , кг/м ³	1327
2	Пустотность, %	45,2
3	Плотность, ρ , г/см ³	2,1
4	Модуль крупности, M_k	0.4
5	Удельная поверхность, см ² /г	355

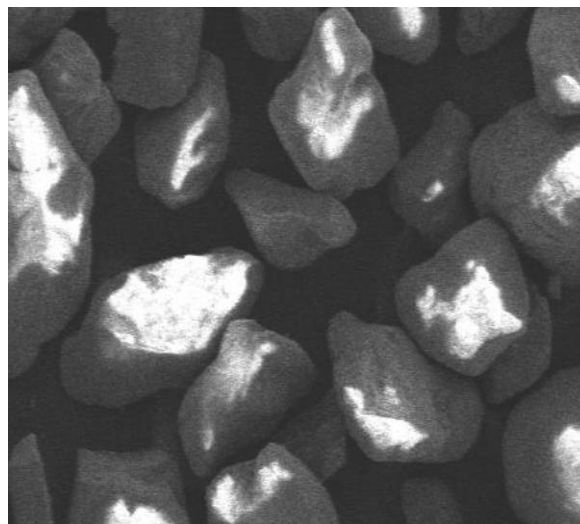
Таблица 4 – Химический состав песка

Наименование месторождения	Содержание, %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
Бокейординское	72.0	5.8	1.7	9.1	1.1	1.9

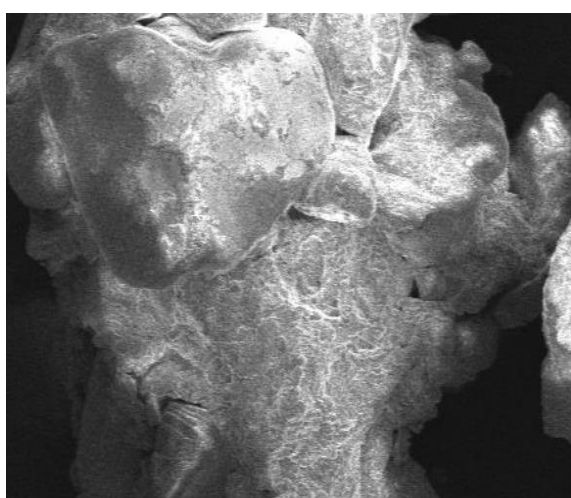
Микроструктура песков представлена на рисунке 6.



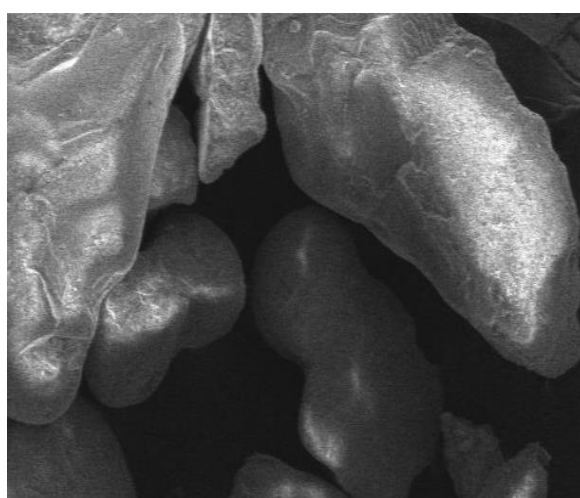
а)



б)



в)



г)

а) x17; б) x95; в) x110; г) x130.

Рисунок 6 – Микроструктура песка ЗКО в различных увеличениях:

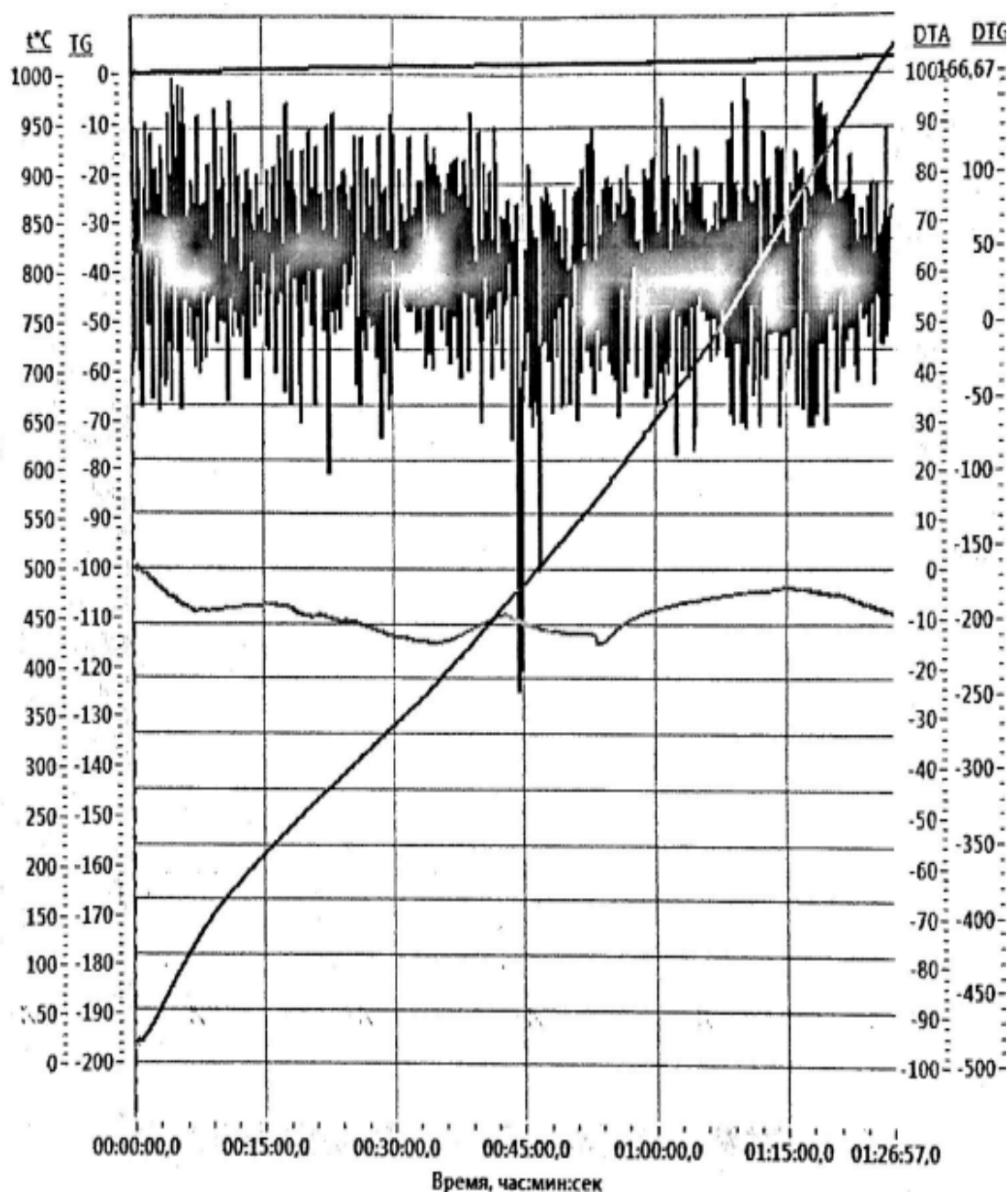


Рисунок 7 –Дериватограмма образца песка месторождения Бокейорды

Как видно из рисунка на кривых ДТА образца песка (рисунок 7) потери массы практически не видны.

Согласно кривой TG мг/мин расчет потери веса образца суглинка – 0,5 %; уровень сглаживания рассчитанной DTG – 5; К значения DTG – 0,0022мг/мин; рассчитанное последнее значение TG – 2,94 мг; min – 0,24мг/мин. На кривых ДТА эндозффекты имеют место при следующих t , °C: 130, 365, 578, что указывает на удаление H_2O . При $t=477^{\circ}C$ имеет место экзозффект, указывающий на наличие ортоклаза, при $t=877^{\circ}C$ –

экзоффе́кт, указы́вающий на разложе́ние кальци́та. При $t > 1000^{\circ}\text{C}$ образуются высокотемпературные фазы.

2.1.3 Нефтешламы ТОО «Жайыкмунай»

В качестве модифицирующей добавки, улучшающей прочностные и другие свойства керамзита и керамического кирпича, применяют нефтешлам с резервуаров ТОО «Жайыкмунай».

Шламы, имеющие место при нефтегазодобычи, транспортировки нефтепродуктов, их переработки, считают опасными загрязнителями окружающей среды (воды, почвы и т.д.).

Как известно, нефтешламы – смесь нефтепродуктов, воды и различных механических примесей. Ежегодно объемы отходов в виде нефтешламов закономерно увеличиваются, а их хранение вызывает сложные экологические проблемы. Учеными установлено, что в составе таких отходов остаются органические вещества, которые могут использоваться как ценное сырье, и ее переработка способствует сохранению природных источников.

Накапливаясь в резервуарах, нефтешламы образуют эмульсию, которая состоит из нефтепродукта и воды, механических примесей в которой не превышает 7 %, из эмульсии», которая содержит до 80% воды и до 17% механических примесей, из твердой эмульсии (70 % с содержанием нефтепродуктов до 10 % и воды до 25%).

Групповой состав УВ в соответствии с результатами хромато–масс спектрометрического анализа представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Групповой состав УВ

Наименование	Значение, %
Парафины	44
НП	26
КП	15
Бензолы (нафталины)	3
Нафтенбензолы	1

Результаты исследований реологических свойств нефтешлама показаны в таблице 6.

Таблица 6 – Реологические свойства нефтешлама

Наименование	Значения
ρ , кг/м ³ при 20 °С	836–840

Продолжение таблицы 6

Состав, % об.	
200 °С	12
300 °С	38
350 °С	52
S, %	0,02
Q, кДж/г	44,9
Примеси, %	0,022
NaCl, мг/дм ³	28,45

Для проведения экспериментов пробы нефтешламов взяты с 10 точек ТОО «Жайыкмунай», определен их состав (рисунок 8).

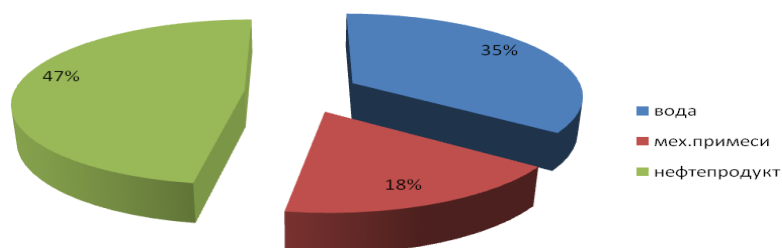


Рисунок 8 – Состав нефтешламов

Определение содержания УВ в нефтешламе при использовании программирования температуры разделительной колонки позволяет точно исследовать состав УВ.

С целью проверки нефтешлама на объект воспламенения исследования проведены в лаборатории университета. Процесс горения нефтешламов приведен на рисунке 9, что позволяет экономить топливо при обжиге керамзита.

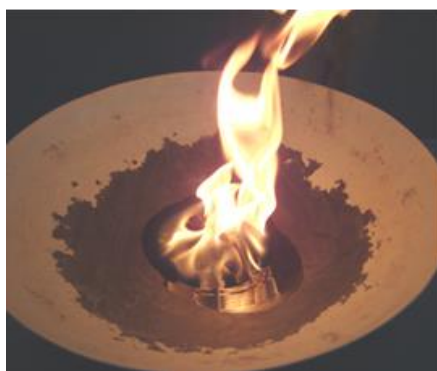


Рисунок 9 – Процесс горения нефтешламов

Для получения однородного состава нефтешлам перемешивают в двухвальном смесителе и в смесителе пропеллерного типа, получают гомогенную массу.

2.2 Методы исследований

Исследования сырьевых материалов, керамзита проведены в лабораториях ЗКАТУ им. Жангир хана, ЮКГУ имени Ауезова, КГУ им. Коркыт Ата и Самарского государственного технического университета.

В процессе исследования сырьевых материалов и керамического кирпича использована лаборатория «IPGETAC» по выбранному направлению, ВКТГУ им. Д. Серикбаева и лаборатория инженерного профиля «Методы физико–химического анализа» КГУ им. Коркыт Ата.

Определение основных характеристик керамзита выполнено в соответствии с ГОСТ 9758.

Определение основных физико–механических свойств легкого бетона с добавлением керамзита, модифицированного нефтешламом, выполнено в соответствии с ГОСТ 12730.1, ГОСТ 12730.3, ГОСТ 10180, ГОСТ 7076.

С целью измельчения суглинка в лабораторных условиях применена шаровая мельница МШЛ–1П (рисунок 10).



Рисунок 10 – Шаровая мельница марки МШЛ–1П

Термоподготовка сырцовых гранул, кирпичей–сырцов осуществлялась с помощью сушильного шкафа, для обжига керамзита – лабораторной вращающейся печи марки RSR120/1000/13 (рисунок 11 и 12), для обжига кирпичей электропечь камерная ЧОЛ 80/12 (рисунок 13).



Рисунок 11 – Сушильный шкаф ШСП 0,5–70.



Рисунок 12 – Лабораторная вращающаяся печь RSR120/1000/13



Рисунок 13 – Электропечь камерная СНОЛ 80/12

Морозостойкость исследуемых материалов определены с помощью камеры тепла и холода КТХ (рисунок 14).



Рисунок 14— Камера тепла и холода

Коэффициент теплопроводности полученных материалов измерен при помощи измерителя теплопроводности (рисунок.15).



Рисунок 15— ИТП-МГ-4 ЗОНД

Керамзит соответствует требованиям ГОСТ 9757–90.

2.3 Методика исследования нефтешламов

Газовый хромато–масс–спектрометр Agilent 7890A/5975C (рисунок 16) применяли для определения УВ состава нефтешлама.



Рисунок 16 –Agilent 7890F/5975C

Проведен хроматографический анализ. Выдержаны следующие условия: газ – гелий; $T_{\text{испар}}$ 355 °С, сброс потока составил 30:1; $T_{\text{термостат}}$ 75°С, увеличение 4,5°С/мин, $T_{\text{оконч}}$ 280 °С, выдержка 25–30 мин, $t_{\text{общ}}$ = 80 мин.

Состав фракций нефтешлама определяли при помощи АРН–ЛАБ–02. Перегонка образца $V=100$ мл осуществлялась под наблюдением температуры и $V_{\text{кон}}$.

Определение массовой доли серы в составе нефтешламе осуществлялась с помощью прибора «Спектроскан–Макс GF2Е».

С помощью калориметре С2000 определена теплота сгорания образца при полном сжигании массы в калориметрическом агрегате, среда которого была под давлением воздуха. Выделяемая теплота была за счет сгорания дополнительных веществ.

Содержание механических примесей выявлено с помощью фильтрования нефтешлама. До начала исследований нефтешлам был растворен в бензине и промыт растворителем. Далее образец подвергался сушке и взвешиванию. Содержание хлористых солей осуществлялось титрованием водного экстракта (присутствие индикатора дифенилкарбазида) двухвалентной азотной кислотой.

Изучение реологических характеристик исследуемого нефтешлама, включая плотность, гранулометрический состав, массовое содержание серы, теплоту сгорания, а также количество механических примесей и хлоридов, осуществлялось в соответствии с утверждёнными и общепринятыми методиками:

2.4 Методы исследования структурных изменений в керамических массах при производстве керамзита

РФА проведен с помощью дифрактометра ДРОН-3 (наличие СиК и Со-излучений).

Электронный микроскоп JEM-2100 предназначен для определения кристаллических фаз, размеров частиц, а также кристаллов, соотношения фазы кристаллической и аморфной. Растровый электронный микроскоп JSM-6390LV предназначен для изучения топографии, микроструктуры поверхности образцов, анализ составов образцов в определенной области.

Дифрактометр XPert PRO предназначен для фазового и изотопного анализа, для определения размера ячейки и расположения кристаллов, для анализа поликристаллических структур, напряжений, для элементного анализа неорганических веществ и материалов.

Электронный микроскоп JSM 6490LV предназначен для определения состава химических элементов в суглинке.

Микроскоп JSM 6490LV INCA Energy-350 (рисунок 17) имеет приставку для определения энергодисперсионного анализа HKL Basis, предназначен для исследования тонкослойных структур веществ на микроуровне. Допустимое разрешение варьирует в пределах 5–300 000 и 3 нм ($3 \cdot 10^{-9}$ м) – самый max_{допус} диапазон.



Рисунок 17– Электронный микроскоп JSM 6490LV

Петрографические исследований структур, положение пограничных слоев керамзита осуществляли с помощью оптико-цифрового микроскопа «Webber G50s» (рисунок 18), оптическая система которого представлена со степенью увеличения от 10 до 600 раз. Оцифровка изображения проведена при помощи видеоматрицы (с помощью веб-

камеры марки «Philips SPS1000NC», имеющее высокое разрешение (до 5 мегапикселей).



Рисунок 18 – Микроскоп WebberG50s

Дериватограмма образцов (суглинок, песок) проведена на Q-дериватографе (рисунок 19). Необходим для определения температуры внутри вещества, определение массы, скорости изменения веса вещества, для квазитермических, квазиизобарных исследований, по показаниям которых получают больше информации.



Рисунок 19 – Дериватограф Q1500.

2.5 Методика исследования свойств керамических масс при производстве кирпича

Оценку чувствительности исследуемых масс во время сушки проводили по методике, разработанной Белопольским М.С., с использованием расчёта коэффициента чувствительности к сушке на основании предложенной им формулы.

$$K_{\text{ч}} = \frac{l_2 d_2}{l_1 d_1} / \left[\frac{1,275 \Delta m}{l_1 d_1^2 - l_2 d_2} - 1 \right] \quad (1)$$

где, l_1 и l_2 – начальная и конечная длина образца, см.;
 d_1 и d_2 – начальный и конечный диаметры образца, см.;
 $\Delta m = m_1 - m_2$; m_1 , m_2 – начальная и конечная массы образца, г.
Тонкость помола контролировалась просеиванием через сито 0,14.
Формовка образцов произведена по методу пластического формования.

Определение сырцовой прочности (кгс/см²), МПа произведено на свежесформованных образцах куба 50х50х50 мм. Вычисление производили по формуле:

$$R_{\text{сырца}} = P/F \quad (2)$$

где, P – разрушающая нагрузка, кгс;

F – площадь поперечного сечения образца куба, см².

Материалы просеивали через сито с размером ячейки 0,14 мм. Формование образцов осуществлялось методом пластического формования. Сырцовая прочность (в кгс/см² или МПа) измерялась на образцах размером 50×50×50 мм. Расчёт по прочности проводился по известной формуле.

Определение общей усадки материала осуществлялось путём измерения изменений известных размеров балок 40×40×160 мм и кубов 50×50×50 мм до и после обжига. Расчёт усадки выполнялся по соответствующим расчетам.

$$l_{\text{общ}} = (d_1 - d_2) 100 / d_1 \quad (3)$$

Прочность обожжённых образцов на сжатие рассчитывали с использованием соответствующей расчетной формулы:

$$R_{\text{сж.}} = P/F \quad (4)$$

Прочность на изгиб определяли на балочных образцах размером 40*40*160мм, используя соответствующую формулу расчёта:

$$R_{\text{изг.}} = Pl / bh^2 \quad (5)$$

где, P – разрушающая нагрузка, кгс;
 l – расстояние между опорами, см;
 b – ширина образца, см;
 h – высота образца, см.

Показатели прочности сырья, а также такого же показателя на сжатие и изгиб обожжённых образцов определяли как среднее арифметическое значение, полученное по результатам испытаний пяти образцов.

Водопоглощение измерено на кубических образцах размером 50×50×50 мм, предварительно обожжённых при заданной температуре. Процесс насыщения водой осуществлялся в течение 48 часов, при этом ее уровень превышал верхнюю грань на 2 см.

Водопоглощение образца (% по массе):

$$W = (m_2 - m_1 / m_1) 100 \quad (6)$$

где, m_1 – масса обожженного образца, г.
 m_2 – масса насыщенного водой образца, г.

Средняя плотность или объемная масса (г/см³, кг/м³) образцов определялась по формуле:

$$\rho = m / v \quad (7)$$

где, m – масса обожженного и высушенного образца, г;
 v – объем обожженного образца в естественном состоянии, см³

Открытую пористость (%) образцов определяли из выражения:

$$P_o = W \cdot \rho \quad (8)$$

где, W – водопоглощение, %;
 ρ – плотность образцов, г/см³.

Теплопроводность образцов определялась с использованием прибора ИТП–МГ–4 «ЗОНД», при этом предельно допустимая погрешность измерений составляла $\pm 10\%$.

Морозостойкость испытывали с применением климатической камеры типа КТХ, обеспечивающей чередование температурных воздействий.

Для сушки образцов применяли сушильный шкаф модели ШСП–0,5–70. Процесс сушки проводился при температуре 70–80 °С до достижения постоянной массы.

Обжиг проводился в муфельной электрической печи СНОЛ 80/12, в диапазоне температур 800–1100 °С.

При обработке экспериментальных данных использовались следующие статистические показатели: среднее арифметическое значение ($\bar{X}$), среднеквадратичное отклонение (S), а также коэффициент вариации (v , %), характеризующий относительную изменчивость результатов.

$$\bar{X} = (1/n) (X_1 + X_2 + \dots + X_n) = (1/n) \sum_{i=1}^n X_i \quad (9)$$

где, $X_1, X_2, \dots, X_n$ – результаты отдельных измерений;
 n – число измерений

$$S = \pm \sqrt{1/(n-1) \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (9)$$

где, $\sum (X_i - \bar{X})^2$ – сумма квадратов отклонений всех измерений от среднего арифметического;
 n – число измерений.

$$v = (S / \bar{X}) 100 \quad (10)$$

где, S – среднеквадратичное отклонение;
 $\bar{X}$ – среднее арифметическое значение.

Количество испытаний равнялось 10, в некоторых случаях увеличивали в двое.

Выводы по главе 2.

1. Основной сырьевой материал для производства керамзита и керамического кирпича, используемый в исследованиях – неvspучивающиеся лессовидные суглинки Чаганского месторождения

ЗКО. Корректирующей и модифицирующей добавкой является нефтешламы компании ТОО «Жайыкмунай».

2. Добавка в виде песка использована для улучшения прочностных характеристик керамзита. Исследованы химико–минералогические, физические, механические свойства сырьевых материалов, готовой продукции.

3. Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием современных аттестованных приборов, оборудования. Применялись стандартные методики, также все необходимые методы исследований.

3. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРУЮЩИХ И ЭНЕРГОВЫДЕЛЯЕМЫХ КОНГЛОМЕРАТНЫХ СМЕСЕЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМЗИТА И КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ИХ ОСНОВЕ

3.1 Разработка составов и технологии конгломератных смесей, предназначенных для применения в керамических массах в качестве модифицирующего компонента при производстве керамзита и кирпича

Нефтешламы классифицируются как нефтяные дисперсные системы, обладающие коллоидно–химической природой. Это обуславливает трудности в формировании однородных смесей на основе нефтешламов и пористых материалов, что связано с их склонностью к грануляции. Например, при взаимодействии с лессовидным суглинком нефтешлам мгновенно впитывается, что препятствует равномерному распределению по всему объему. В результате, при масштабном смешивании компонентов – суглинка и нефтешлама – не происходит полноценного взаимодействия мелких частиц, что негативно отражается на последующих технологических этапах. Использование нефтешлама в его природной форме усложняет такие процессы, как дозировка, смешивание и достижение однородности в составе керамических масс. С целью преодоления этих трудностей предлагается применять конгломератную смесь, в которую нефтешлам добавляется в качестве вторичного компонента к основному сырью – лессовидному суглинку.

Для получения такой смеси (см. рисунок 20) были проведены подготовительные мероприятия, включающие предварительную обработку исходных компонентов перед началом основных технологических операций.



Рисунок 20 – Конгломератная смесь с нефтешламом

В рамках решения поставленных задач были разработаны и изучены два варианта конгломератных смесей: «лессовидный суглинок–нефтешлам» («ЛС–Н») и «мелкозернистый песок–нефтешлам» («МП–Н»). На начальном этапе суглинок измельчался с помощью мельницы до достижения показателя (поверхности материала) порядка 1500 см²/г. Степень измельчения мелкозернистого песка контролировалась путем просеивания через сито с размером ячеек № 0,315. Образцы нефтешлама и суглинка (или песка) тщательно перемешивались в смесительном оборудовании пропеллерного типа либо в двухвальном смесителе. Пропорции составляющих материалов подбирались опытным путем.

Влажность полученной смеси служила основным показателем достижения состояния конгломерации. Подробные пропорции компонентов, использованных в каждой из исследуемых систем, приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Соотношения компонентов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н»

Номер состава	Соотношения компонентов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н»	Влажность массы в системах, %	
		«ЛС–Н»	«МП–Н»
1.	1 : 1	34,1	36,9
2.	1 : 2	23,5	24,5
3.	1 : 3	18,9	19,3
4.	1 : 4	16,3	17,2
5.	1 : 5	13,1	13,5
6.	1 : 6	13,2	13,6

В качестве оптимального показателя влажности для исследуемых конгломератных смесей были выбраны такие значения, которые наиболее близки к естественной (карьерной) влажности глинистых пород. Данный подход обеспечивает наилучшую совместимость вводимых конгломератных смесей с действующей технологией производства керамзита на заводах. Как подтверждают результаты проведённых экспериментов, требуемыми параметрами влажности характеризуются составы под номерами 5 и 6 в обеих исследуемых системах.

Следовательно, были определены составы конгломератных смесей, обладающие сыпучей формой и пригодные для эффективного смешивания с основным сырьевым компонентом — лессовидным суглинком.

Для реализации технологических операций в промышленных условиях было предложено и разработано решение, позволяющее перевести нефтешлам в конгломератное состояние (см. рисунок 21).

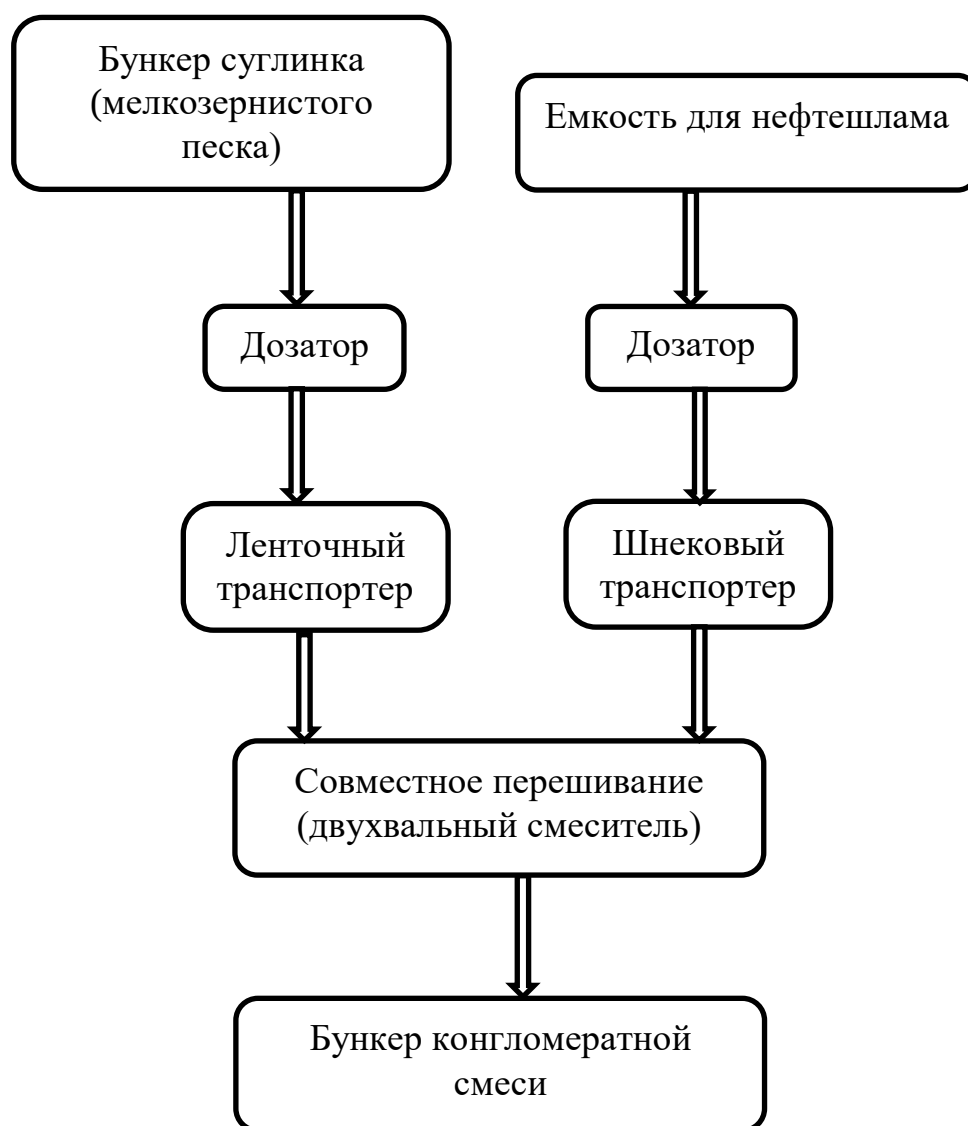


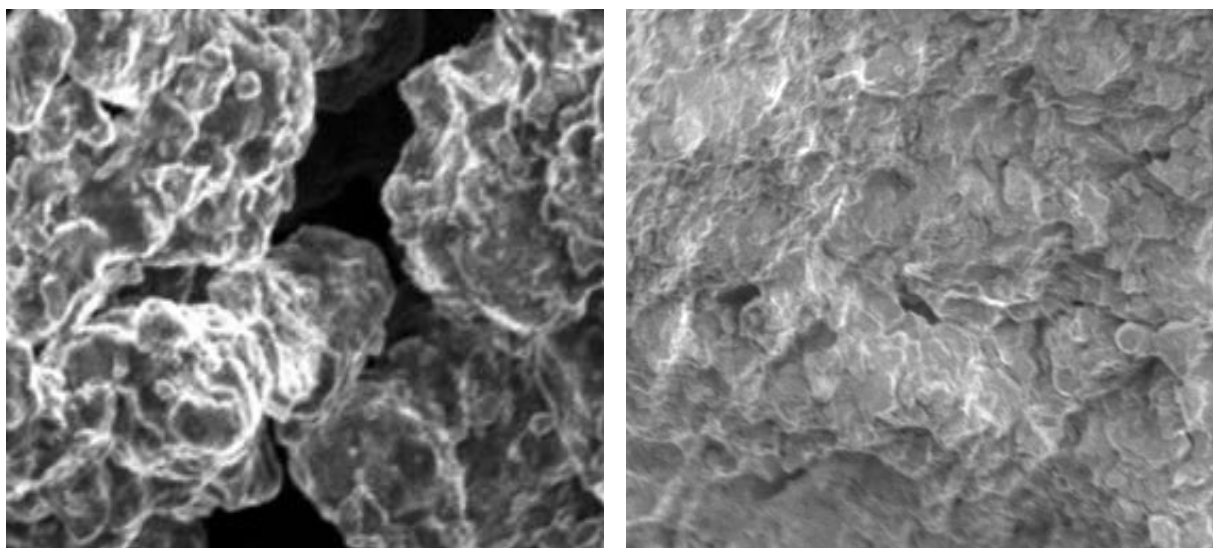
Рисунок 21 – Схема технологического процесса превращения нефтешлама в рыхлую конгломератную форму

Технологическая схема получения конгломератной смеси в обеих исследуемых системах идентична.

В условиях промышленного производства нефтешлам доставляется в герметичных контейнерах и размещается на специально оборудованной площадке для хранения. Из цистерн материал переливается в резервуары, откуда затем с определённой дозировкой подается в шнековый транспортер. Одновременно с этим из склада сырья осуществляется подача мелкозернистого песка или лессовидного суглинка на ленточный транспортер. Далее оба компонента — нефтешлам и песок (или суглинок) — поступают в двухвальный смеситель, где происходит их интенсивное перемешивание.

Полученная смесь сыпучей консистенции с помощью ленточного транспортера направляется в накопительный бункер, оснащённый объемным дозирующим устройством. Оттуда готовый материал дозированно подается в производственную линию в качестве добавки к основному сырью при производстве керамзита.

Результаты анализа микроструктуры готовых смесей показали, что в обоих вариантах композиций — «ЛС–Н» и «МП–Н» — формируются прочные контактные соединения между частицами. Это обеспечивает равномерную и однородную структуру материала, что подтверждено данными электронно–микроскопического анализа (см. рисунок 22).



а)

б)

а) в системе «ЛС–Н»

б) в системе «МП–Н»

Рисунок 22 – Микроструктура конгломератной смеси

Следует подчеркнуть, что переход нефтешлама в конгломератную форму в рамках обеих исследуемых систем позволяет изменить его классификацию с 3 класса опасности на экологически безопасный материал, что обеспечивает выпуск продукции, соответствующей требованиям экологической безопасности.

3.2 Исследование изменений физико–механических параметров керамзита в зависимости от состава вводимых конгломератных смесей

На следующем этапе научно–практических исследований была выполнена разработка составов керамических масс, основной сырьевой компонент – лессовидные суглинки с введением конгломератной добавки.

В качестве основного компонента использовались лессовидные суглинки из Чаганского месторождения, а в качестве модифицирующей добавки — нефтешламы, предоставленные нефтяной компанией ТОО «Жайыкмунай» (см. главу 2), а также мелкозернистый песок из Бокейординского месторождения Западно–Казахстанской области (см. главу 2).

Экспериментальные работы проводились в рамках двух композиционных систем: лессовидный суглинок–конгломератная смесь на основе нефтешлама, лессовидный суглинок–конгломератная смесь на основе мелкозернистого песка и нефтешлама.

Целью являлось получение керамзита с различными физико–механическими характеристиками, в том числе прочностью и насыпной плотностью, для удовлетворения разнообразных требований потребителей.

Для первой системы — «ЛС–Н» — была подготовлена конгломератная смесь с влажностью 13 %. Суглинок предварительно измельчался в лабораторной шаровой мельнице МШЛ–1П до удельной поверхности 1500–2000 см²/г, после чего проводилось смешивание с подготовленной конгломератной добавкой. На основе полученного состава формировали керамическую массу с влажностью 20–25 %, из которой изготавливали гранулы. Термическая обработка и обжиг осуществлялись в вращающейся печи RSR120–1000/13 согласно специально разработанному режиму при температуре $1150 \pm 20^{\circ}\text{C}$.

Во втором варианте – «МП–Н» – применялась конгломератная смесь с влажностью 13,6 %, приготовленная из песка и нефтешлама. Смешивание проводилось с лессовидным суглинком, после чего из полученной массы формировались образцы в виде цилиндров. Термообработка и обжиг также проводились в печи RSR120–1000/13 в соответствии с тем же температурным режимом — $1150 \pm 20^{\circ}\text{C}$.

Подробные составы исследуемых композиций приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Составы исследуемых композиций

№ состава	Содержание компонентов конгломератной смеси в системе, масс %		
	суглинок	«ЛС–Н»	«МП–Н»
1	95	5	5
2	90	10	10
3	85	15	15
4	80	25	25
5	70	30	30

3.2.1 Определение физико–механических свойств керамзита

В рамках выполненной работы были проведены всесторонние исследования, направленные на определение физико–механических характеристик полученных материалов. Показатели физико–механических свойств образцов керамзита, полученных в рамках обеих исследуемых систем при температуре обжига $1150 \pm 20^\circ\text{C}$, представлены в таблицах 9 и 10. Выбор данной температуры обусловлен тем, что именно при ней происходит активное вспучивание формованных гранул.

Графические зависимости таких параметров, как насыпная плотность, прочность при сжатии в цилиндрических образцах, теплопроводность, степень вспучивания и водопоглощение от варьирования состава керамических смесей в двух исследуемых системах при температуре обжига $1150 \pm 20^\circ\text{C}$, отражены на рисунках 23–27.

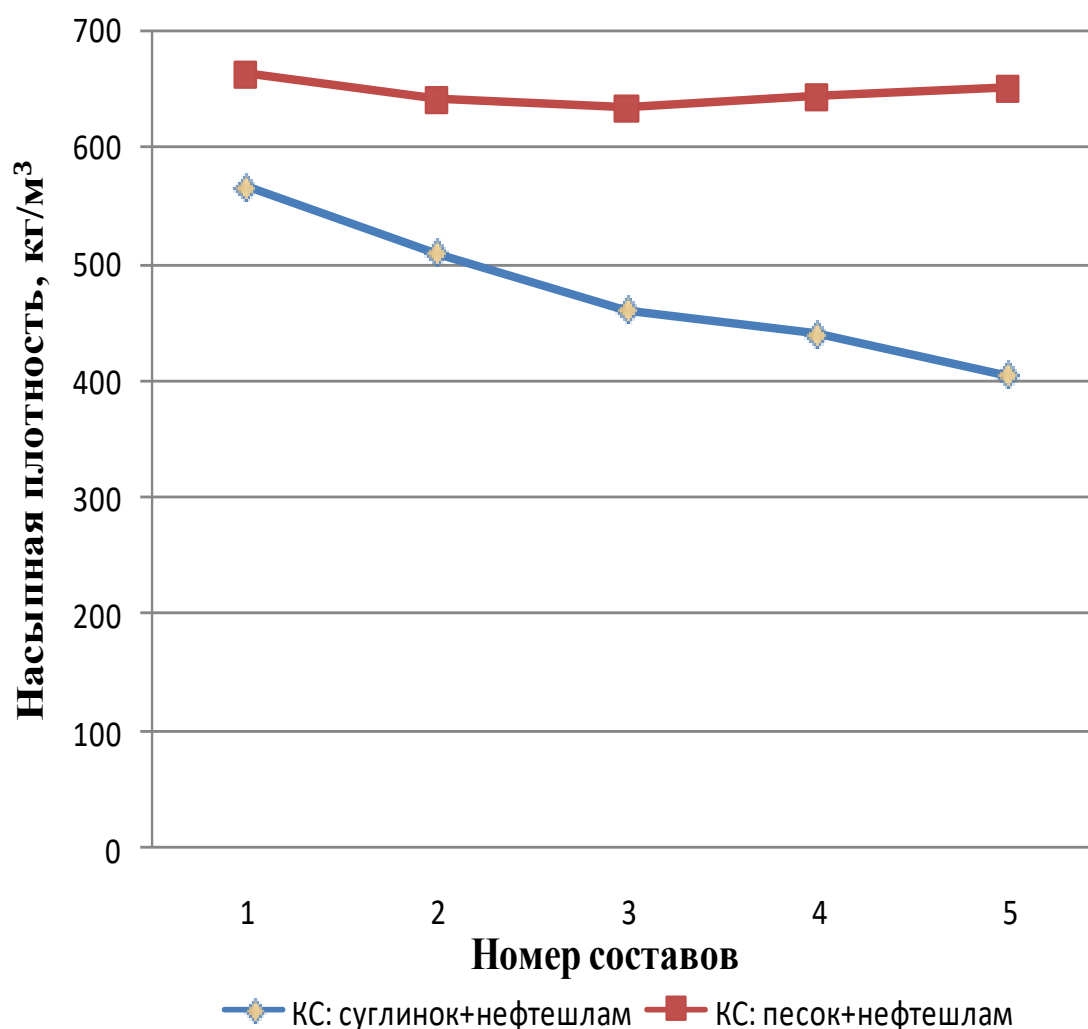


Рисунок 23 –Зависимости насыпной плотности от составов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н»

Таблица 9 –Показатели физико–механических свойств образцов керамзита в системе «ЛС–Н» при температуре обжига 1150°С

Содержание конгломератной смеси, %	Значение насып/плотности кг/м ³	Значение прочности, МПа	Теплопроводность, Вт/м*К	Водопоглощение, %	Коэффициент впитывания, Вт/м*К
5	565	5,1	0,18	17,8	1,9
10	508	4,9	0,08	17,6	2,6
15	460	4,6	0,07	16,5	2,7
25	440	4,51	0,07	16,2	2,7
30	405	3,4	0,1	16,8	2,9

Показатели физико–механические свойств образцов керамзита в системе «МП–Н» при температуре обжига 1150°С показаны в таблице 10.

Таблица 10 – Показатели физико–механические свойств образцов керамзита в системе «МП–Н» при температуре обжига 1150°С

Содержание конгломератной смеси, %	Значение насып/плотности кг/м ³	Значение прочности, МПа	Теплопроводность, Вт/м*К	Водопоглощение %	Коэффициент впитывания, Вт/м*К
5	662	4,35	0,21	17,2	1,8
10	640	4,25	0,17	17	2,5
15	633	4,0	0,17	16,2	2,6
25	642	5,93	0,16	16,3	2,6
30	649	6,2	0,17	17	2,2

Как следует из рисунка 23, насыпная плотность образцов с номерами 2, 3 и 4 в системе «МП–Н» при обжиге остается практически неизменной при варьировании состава. Основное снижение плотности связано с удалением остаточной и связанной (гидратной) влаги из исходного сырья, а также с выгоранием органических соединений по мере увеличения содержания конгломератной добавки, включая нефтешлам.

В системе «ЛС–Н» наблюдается заметное снижение насыпной плотности — почти на 30 % — у образцов составов № 4 и 5, что является прямым индикатором активного протекания процессов впитывания. При этом интенсивность впитывания возрастает пропорционально увеличению доли конгломератной смеси в составе.

Зависимости прочности при сдавливании в цилиндре от составов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н» показаны на рисунке 24.

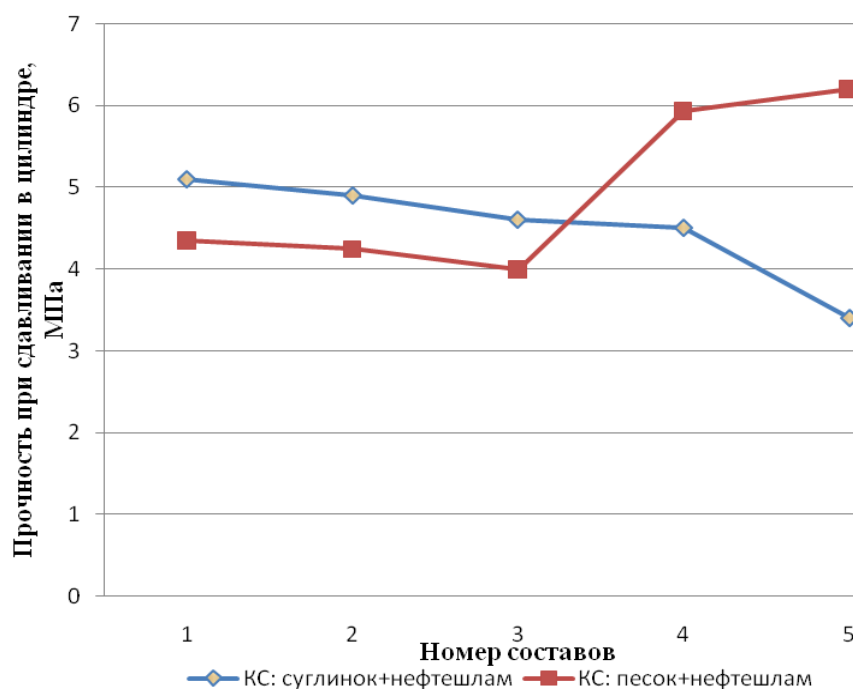


Рисунок 24 – Зависимости прочности при сдавливании в цилиндре от составов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н»

Зависимости коэффициента теплопроводности от составов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н» показаны на рисунке 25, зависимости коэффициента вспучивания от составов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н»– на рисунке 26.

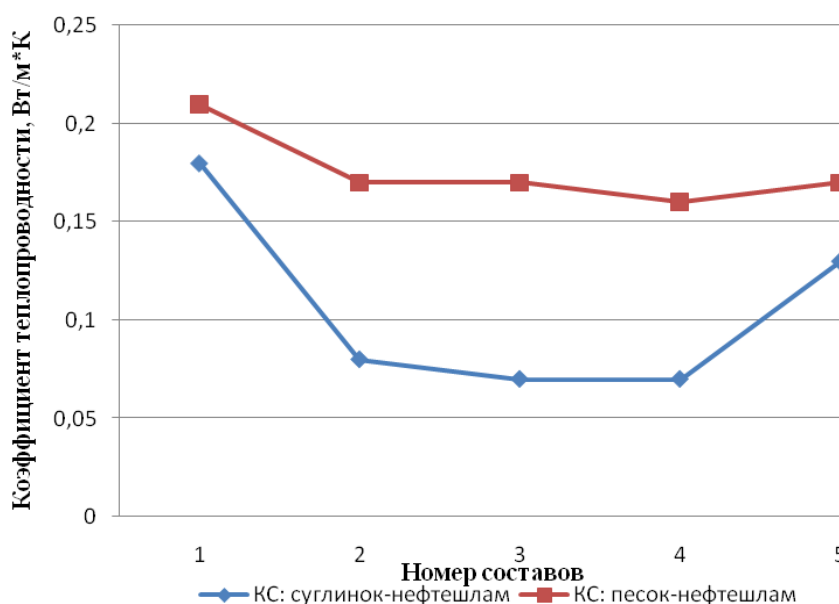


Рисунок 25 –Зависимости коэффициента теплопроводности от составов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н»

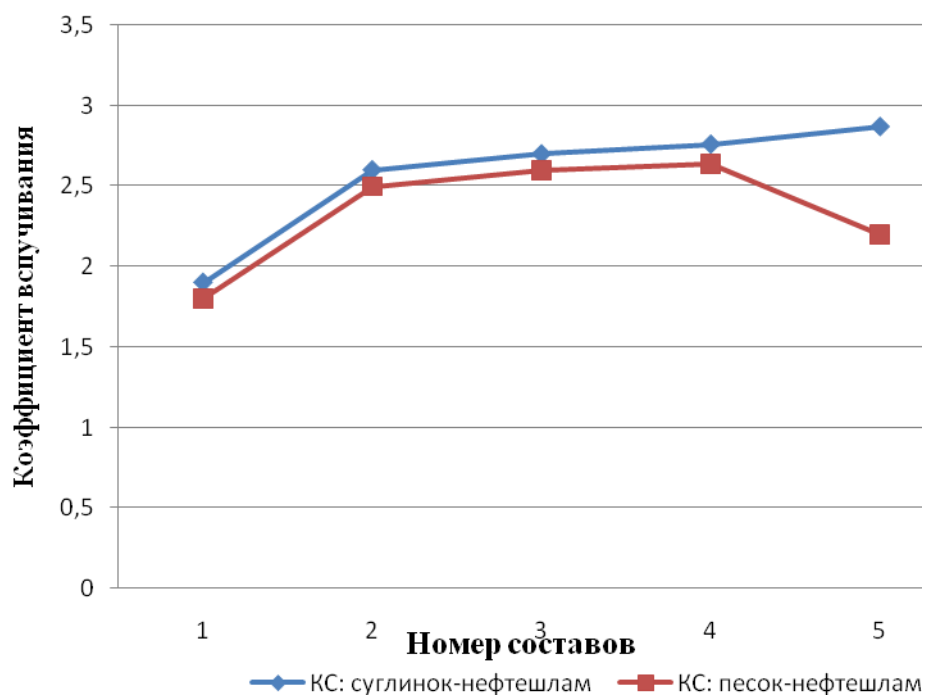


Рисунок 26 – Зависимости коэффициента всасывания от составов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н»

Зависимости водопоглощения от составов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н» показаны на рисунке 27.

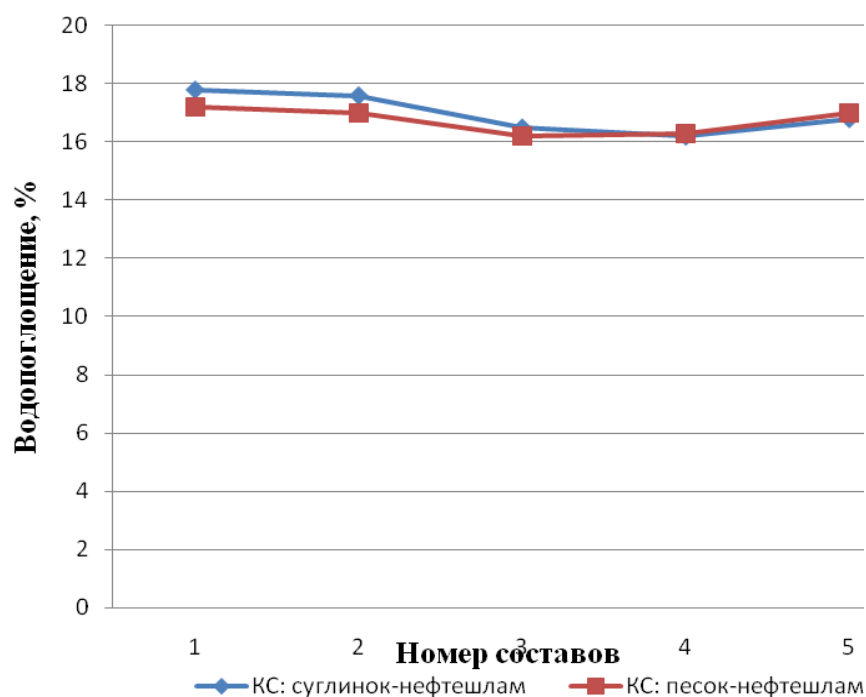


Рисунок 27 – Зависимости водопоглощения от составов в системах «ЛС–Н» и «МП–Н»

Анализ полученных зависимостей позволил определить оптимальные составы в исследуемых системах. В системе «ЛС–Н» наилучшие результаты продемонстрировали составы № 2, 3 и 4, для которых характерна насыпная плотность в диапазоне 440–508 кг/м³. В композиции «МП–Н» аналогичные показатели (633–642 кг/м³) были зафиксированы у составов № 3 и 4. Прочность при сжатии в цилиндре у этих образцов варьировала от 4,51 до 4,9 МПа для системы «лессовидный суглинок–нефтешлам» и от 4 до 5,93 МПа для системы «мелкозернистый песок–нефтешлам».

При увеличении доли конгломератной смеси до 30 % в системе «ЛС–Н» наблюдается существенное снижение как насыпной плотности (до 405 кг/м³), так и прочности (до 3,4 МПа). В системе с мелкозернистым песком добавление до 15% конгломерата сначала вызывает снижение обоих показателей, однако при содержании 25% (состав № 4) наблюдается рост насыпной плотности и прочности. При дальнейшем увеличении добавки до 30% коэффициент вспучивания падает до 2,2, что выше, чем нормативные требования.

В системе «ЛС–Н» коэффициенты вспучивания у составов № 2, 3, 4 и 5 превышают 2,5, что соответствует стандартам. В то же время, в песчаной системе значение этого показателя у состава № 5 снижается до 2,2, что не удовлетворяет нормативам.

Коэффициент теплопроводности составов № 2, 3 и 4 в системе «ЛС–Н» составляет 0,07–0,08 Вт/м·К, что значительно ниже по сравнению с аналогичными составами в системе «МП–Н» (0,16–0,17 Вт/м·К).

Показатели водопоглощения в обеих системах отличаются незначительно: в пределах 16,2–17,6 % для системы с лессовидным суглинком и 16,2–17 % — для системы «МП–Н».

Выявлены основные следствия характеристик керамзитовых образцов, полученных на основе суглинков с включением конгломератных смесей в системах «ЛС–Н» и «МП–Н».

3.3 Планирование эксперимента и математический анализ результатов испытаний керамических смесей для производства керамзита в исследуемых системах

Для систематизации сложных изменений физико–механических характеристик образцов керамзита, полученных на основе суглинков с включением добавки конгломератной смеси, в системах «ЛС–Н» и «МП–Н», а также с целью подбора оптимальных компонентных соотношений при производстве керамзита, был применён метод экспериментального планирования с последующей математической обработкой результатов испытаний. Эффективность такого подхода была подтверждена в ходе исследований.

В качестве варьируемых пределов содержания компонентов в двух системах были выбраны следующие диапазоны:

лессовидный суглинок — от 70 до 95 %, при этом конгломератная смесь на основе лессовидного суглинка и нефтешлама составляла от 5 до 30 %;

лессовидный суглинок — от 70 до 95 %, а конгломератная смесь из «МП–Н» — от 5 до 30 %.

Начальный фактор:

X_1 — ЛС. X_2 — КС

X_3 — прочность.

Выбор средних значений:

X_1 — 85,

X_2 — 15,

X_3 — 5.

Выбор минимальных и максимальных значений:

Для конгломератной смеси в системе «лессовидный суглинок нефтешлам»:

$X_{1\text{макс}}$ — 0,95 $X_{1\text{мин}}$ — 0,75.

$X_{2\text{макс}}$ — 0,3 и $X_{2\text{мин}}$ — 0,05.

$X_{3\text{макс}}$ — 5,1 и $X_{3\text{мин}}$ — 3,4.

Для конгломератной смеси в системе «мелкозернистый песок — нефтешлам»:

$X_{1\text{макс}}$ — 0,95 $X_{1\text{мин}}$ — 0,75.

$X_{2\text{макс}}$ — 0,3 и $X_{2\text{мин}}$ — 0,05.

$X_{3\text{макс}}$ — 6,2 и $X_{3\text{мин}}$ — 4,0.

Назначение шага изменения значений переменных:

X_1 — 5,

X_2 — 5,

X_3 — 0,3.

Значение интервалов варьирования значений показаны в таблице 11.

Таблица 11 – Пределы варьирования параметров

Код	Значение коэффициентов	Значение факторов		
		X_1	X_2	X_3
Основной уровень	0	0,95	0,3	5
Интервал варьирования	X_i	5	5	0,3
Верхний уровень	+	1,0	0,35	5,3
Нижний уровень	—	0,9	0,25	4,7

Главные факторы, подверженные варьированию в составах на основе лессовидного суглинка в системах «ЛС–Н» и «МП–Н» показаны в таблице 12.

Таблица 12 – Главные факторы, подверженные варьированию в составах на основе суглинков в системах «ЛС–Н» и «МП–Н»

Название фактора	Коди- ровка	Уровни варьирования				
		–1,41	–1	0	+1	+1,41
Массовое содержание суглинка, %	x ₁	95,00	90,00	85,00	75,00	70,00
Массовое содержание КС, %	x ₂	5,00	10,00	15,00	25,00	30,00

План проведения и полученные данные эксперимента по исследованию керамической смеси на основе системы «ЛС–Н» показаны в таблице 13.

Таблица 13 – План проведения и полученные данные эксперимента по исследованию керамической смеси на основе системы «ЛС–Н»

№ эксперимента	Уровень варьирования				Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	Коэффициент вспучивания	Насыпная плотность кг/см ³	Водопоглощение %
	кодир. перем.		натур. перем.					
	x ₁	x ₂	x ₁	x ₂				
1	1	1	90,0	10,0	4,9	2,6	508	17,6
2	−1	1	85,0	15,0	4,6	2,7	460	16,5
3	1	−1	75,0	25,0	4,51	2,76	440	16,2
4	−1	−1	80,0	20,0	4,51	2,76	440	16,2
5	1,41	0	95,0	5,0	5,1	2,1	565	17,8
6	−1,41	0	70,0	30,0	3,4	2,2	405	16,8
7	0	1,41	50,0	50,0	2,3	1,2	354	18,6
8	0	0	85,0	15,0	4,6	2,7	460	16,5
9	0	0	85,0	15,0	4,6	2,7	460	16,5
10	0	0	85,0	15,0	4,6	2,7	460	16,5
11	0	0	85,0	15,0	4,6	2,7	460	16,5
12	0	0	85,0	15,0	4,6	2,7	460	16,5

План проведения эксперимента и анализ полученных результатов по композиции в системе «мелкозернистый песок – нефтешлам» показаны в таблице 14.

Таблица 14 – План проведения эксперимента и анализ полученных результатов композиции в системе «МП–Н»

№ эксперимента	Уровень варьирования				Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа	Коэффициент вспучивания	Насыпная плотность, кг/см ³	Водопоглощение %
	кодир. перем.		натур. перем.					
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂				
1	1	1	90,0	10,0	4,25	2,5	640	17,1
2	−1	1	85,0	15,0	4,0	2,6	633	16,8
3	1	−1	75,0	25,0	5,93	2,64	642	16,6
4	−1	−1	75,0	25,0	5,93	2,64	642	16,6
5	1,41	0	95,0	5,0	4,35	1,8	675	18,3
6	−1,41	0	70,0	30,0	6,2	2,2	649	18,6
7	0	1,41	50	50	6,6	1,4	696	18
8	0	−1,41	75,0	25,0	5,93	2,64	642	16,6
9	0	0	75,0	25,0	5,93	2,64	642	16,6
10	0	0	75,0	25,0	5,93	2,64	642	16,6
11	0	0	75,0	25,0	5,93	2,64	642	16,6
12	0	0	75,0	25,0	5,93	2,64	642	16,6

В качестве параметров оптимизации керамических масс были выбраны: насыпная плотность изделий и водопоглощение – как характеристики физико–технических свойств, а также прочность при сжатии цилиндрических образцов – в качестве основного показателя качества конечной продукции.

Применение рототабельного плана второго порядка для варьируемых факторов дало возможность сформировать математическую модель, описывающую зависимость свойств от состава, в виде квадратного уравнения.

а) для конгломератной смеси «ЛС–Н»

Прочность

$$R=23,3-1,31x_1+6,36x_2+0,015x_1x_1-0,063x_1x_2-0,068x_2x_2$$

Насыпная плотность

$$\rho=2,37-0,06x_1+0,35x_2+6,01e^{-4}x_1x^2-0,005x_1x_2-0,005x_2x_2$$

Водопоглощение

$$W=35,63-1,51x_1+6,201x_2+0,014 \cdot x_1 \cdot x_1-0,01x_1x_2-0,06x_2x_2$$

б) для конгломератной смеси «МП–Н»:

Прочность

$$R=12,8+0,051 \cdot x_1+0,14x_2$$

Насыпная плотность

$$\rho=1,973+0,002x_1+0,004x_2$$

Водопоглощение

$$W=16,342-0,043x_1+0,44x_2+7,612e^{-5}x_1x^1-0,003x_1x_2-0,002x_2x_2$$

Графическое представление зависимостей, полученных в результате математической обработки данных, представлено на рисунках 27, 28, 29, 30, 31 и 32. Выполнено с использованием программного обеспечения 3D Grapher.

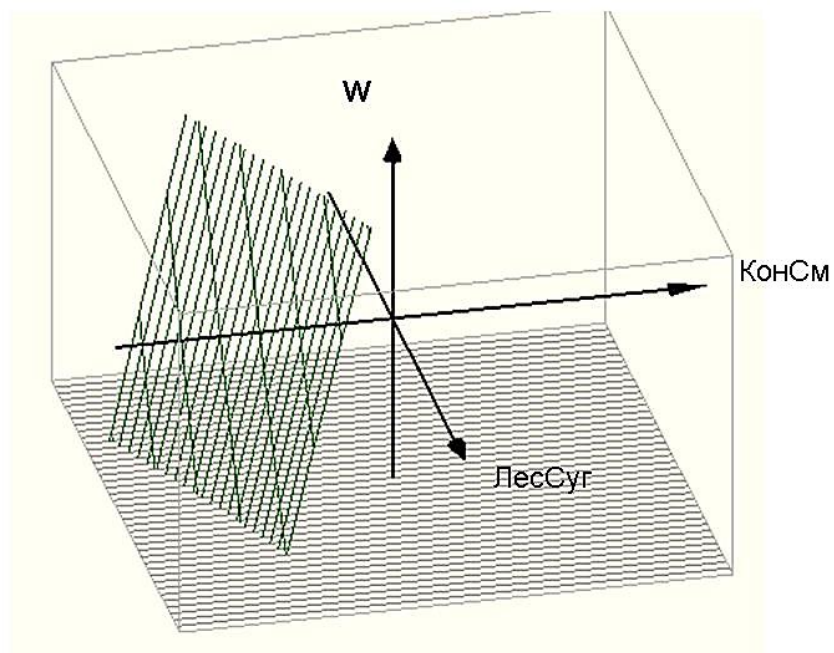


Рисунок 28 – Графическое представление зависимостей зависимости водопоглощения от состава для системы «ЛС–Н».

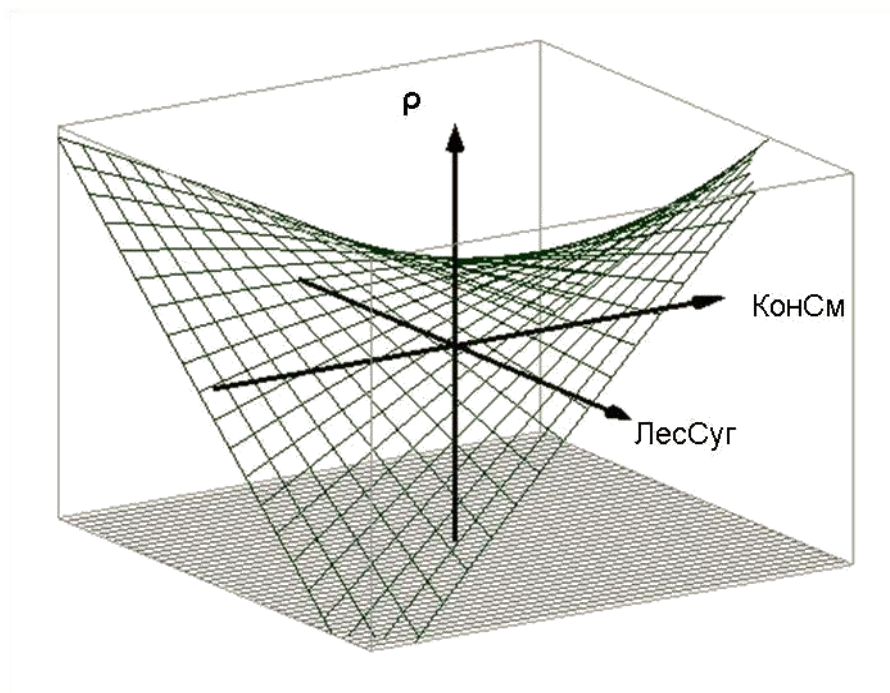


Рисунок 29 –Графическое представление зависимостей насыпной плотности для системы «ЛС–Н»

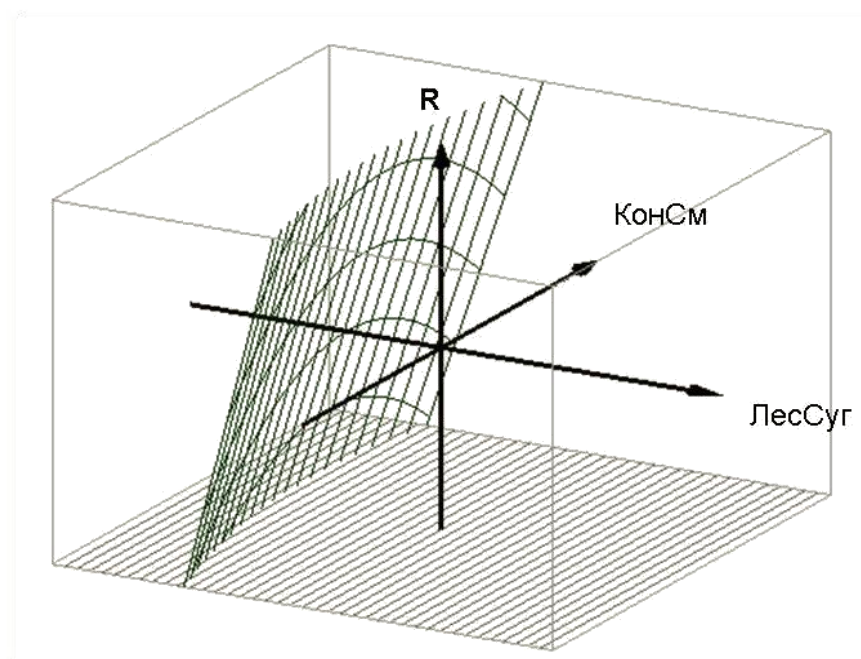


Рисунок 30 – Графическое представление зависимостей прочности для системы «ЛС–Н»

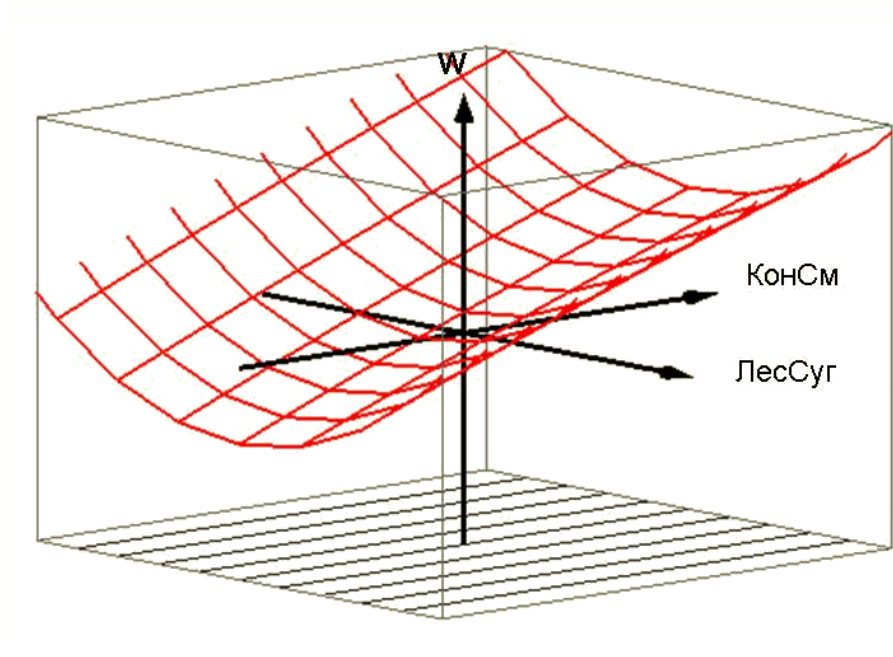


Рисунок 31 – Графическое представление зависимостей водопоглощения для системы «МП–Н»

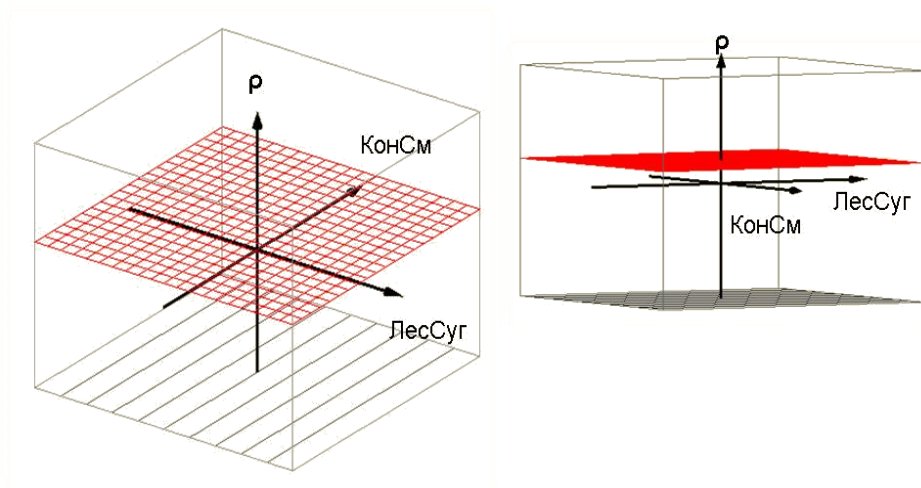


Рисунок 32 –Графическое представление зависимостей насыпной плотности для системы «МП–Н»

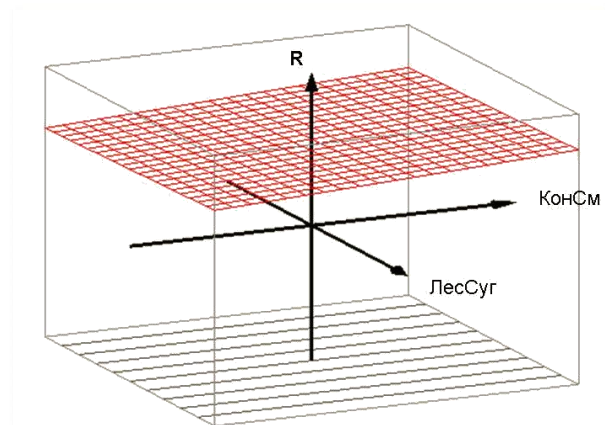


Рисунок 33 –Графическое представление зависимостей прочности для системы «МП–Н»

Проведённое математическое планирование эксперимента и построенные графики зависимостей позволили определить влияние изменяемых факторов на свойства керамзита и установить оптимальные составы смесей.

Анализ полученных зависимостей показал, что наилучшие характеристики достигаются в системе «лессовидный суглинок – нефтешлам» при насыпной плотности в диапазоне 440–508кг/м³, что соответствует составам № 2, 3 и 4. В системе «мелкозернистый песок – нефтешлам» оптимальные значения плотности находятся в пределах 633–642кг/м³ и относятся к составам № 3 и 4. Прочность при сжатии цилиндрических образцов для этих составов составляет от 4,51 до 4,9 МПа в первой системе и от 4 до 5,93МПа во второй.

3.4 Комплексный анализ сырцовых гранул оптимальных составов систем «лессовидный суглинок–нефтешлам» и «мелкозернистый песок–нефтешлам»

Разработка технологических режимов подготовки сырцовых гранул к процессу обжига подразумевает комплексные исследования их свойств.

В рамках работы выполнен дифференциально–термический анализ сырцовых гранул с включением добавки конгломератной смеси, относящихся к системам «Л–СН» и «МП–Н» (рисунок 34). Анализ проводился в следующих условиях: динамический режим нагрева со скоростью 10 °С/мин, конечная температура 1000 °С, чувствительность весов – 100 мг, масса навески составляла 400 г.

Исследование дериватограмм образцов показало наличие четырёх выраженных эндотермических эффектов. Первый из них наблюдается при температуре около 140 °С и обусловлен удалением адсорбированной и межслоевой воды, связанной с гидратированными минералами. Второй эндотермический эффект, проявляющийся при 430 °С, связан с выделением структурной (конституционной) воды из гидрослюдистых фаз.

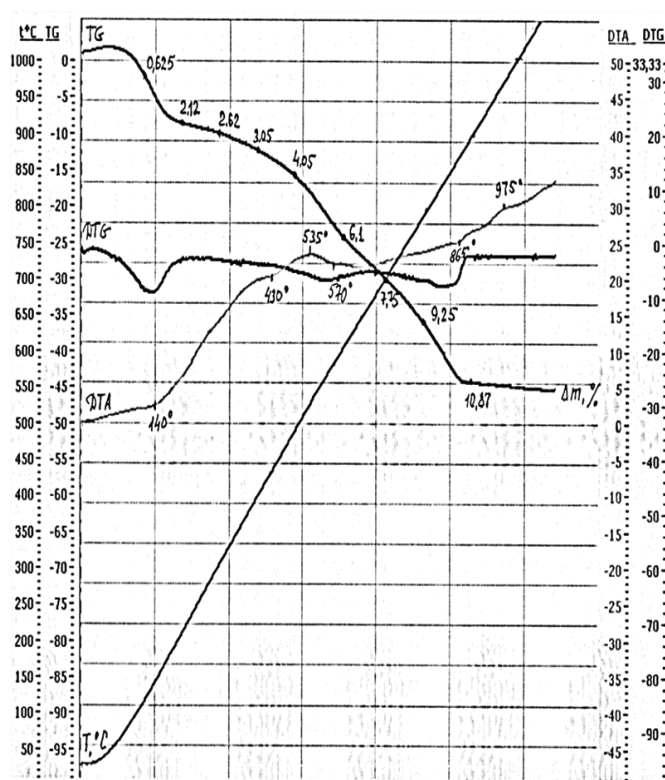


Рисунок 34 – Дифференциально–термический анализ сырцовой гранулы с добавлением смеси в системе «МП–Н»

Третий эндотермический эффект, наблюдаемый при температуре около 570 °С, обусловлен дегидратацией каолинита и последующим

переходом его в аморфное состояние. Четвёртый эндотермический пик, фиксируемый при 865°C, связан с термическим разложением кальцита.

Кроме того, в образцах были зафиксированы два экзотермических эффекта при 535°C и 975°C, что свидетельствует о процессе кристаллизации новообразованных фаз, включая структуры типа шпинели. Все указанные термические процессы сопровождаются снижением массы, отражённым на TG-кривой, при этом совокупная потеря массы составила 10,87%.

На основе проведённого анализа можно сделать вывод, что исследуемые материалы представляют собой глинистые компоненты, по термическим характеристикам схожие с традиционными глинами.

Дополнительно был выполнен рентгенофазовый анализ (РФА) сырцовых гранул. Съёмка проводилась в следующем режиме: начальный угол – 2,00°, конечный – 80,00°, шаг – 0,020°, экспозиция – 0,6, скорость – 2, максимальное число импульсов – 3681.

Анализ рентгенограмм показал наличие в составе шихт следующих минеральных фаз:

- кварц (КВ), с межплоскостными расстояниями d/n: 3,35; 4,28; 2,46; 2,13; 2,28; 1,98; 1,82; 1,67; 1,54; 1,375; 1,25 Å;
- кальцит (КЦ), d/n: 3,04; 2,462; 2,28; 2,09; 1,91; 1,87 Å;
- каолинит (К), d/n: 7,17; 4,47; 3,55; 2,70; 2,55; 2,28; 1,98; 1,68; 1,54; 1,446 Å;
- гидрослюда (ГС), d/n: 10,019; 4,47; 3,35 Å;
- оксид железа (Fe_2O_3), d/n: 2,69; 2,51; 2,20; 1,84; 1,69; 2,87 Å;
- полевые шпаты (ПШ), d/n: 4,02; 3,75; 3,2107 Å.

Образцы классифицируются как типичные глинистые материалы с умеренным содержанием кварцевых включений.

Наличие рефлекса на рентгенограмме (рисунок 35) свидетельствует о значительной доле аморфных фаз в составе исследуемых проб.

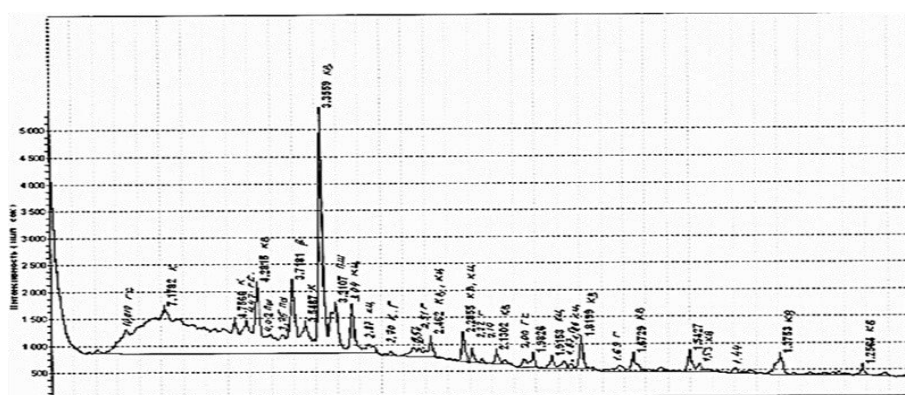


Рисунок 35 – Результаты рентгеноструктурного анализа сырцовой гранулы с компонентами системы «МП–Н»

Комплексное исследование сырцовых гранул позволило обосновать технологические условия их предварительной подготовки перед обжигом

3.5 Зависимость характеристик керамзита от режимов термоподготовки

Как известно, обжиг изделий является ключевым технологическим этапом в процессе получения качественных пористых заполнителей. Эффективная подготовка сырья к данному этапу играет важнейшую роль в формировании структурно–механических свойств материала во время термической обработки и напрямую влияет на конечные показатели качества продукции [1, 70].

Процесс производства керамзита включает в себя ряд последовательно выполняемых операций: разработку глинистого сырья на карьере, его пластическую обработку, дозирование и смешивание компонентов, формование гранул, обжиг, последующее охлаждение, классификацию и корректировку гранулометрического состава, а также складирование и отгрузку готовой продукции [4, 10].

Глинистое сырье и песок транспортируются с мест добычи и выгружаются в крытые хранилища – глинозапасники. Нефтешламы доставляются в специализированных цистернах, предназначенных для перевозки горючих веществ, и хранятся в отдельных герметичных емкостях. Запасы сырья рассчитываются таким образом, чтобы обеспечить непрерывную работу на протяжении примерно четырёх суток.

Далее следует этап подачи сырья на переработку.

Вопросам эффективной переработки сырья уделялось большое внимание в научных исследованиях, проводимых рядом авторов [1–7].

Переработка сырья предполагает разрушение естественной структуры материала, выравнивание его состава и равномерное распределение химических и минералогических компонентов глинистой породы по всей массе, включая добавки. Этот процесс начинается с момента добычи сырья и завершается на этапе формования гранулированных образцов. В процессе переработки и грануляции используются такие оборудование, как глиномешалки, двухвальные смесители и дырчатые вальцы.

Как именно будет переработано сырьё, напрямую влияет на ключевые свойства пористых заполнителей, такие как насыпная плотность, прочность, морозостойкость и другие характеристики. Физико–химические процессы в ходе обжига происходят интенсивнее, если компоненты керамической массы равномерно смешаны, влажность оптимальна, а содержание добавок, например нефтешлама, находится в нужных пропорциях для эффективного вспучивания массы. Однородность керамической массы играет ключевую роль в определении её

качественных характеристик. Предварительная термическая подготовка сырцовых гранул крайне важна для последующих этапов технологического процесса. Сырцовые гранулы в лабораторных условиях получают с использованием тарельчатого гранулятора, а на производстве – с помощью дырчатых вальцов.

Как отметил Онацкий, при постепенном нагреве гранул кислород, который образуется в газовой среде, вступает в контакт с порами глинистого сырья и эффективно взаимодействует с органическими веществами, способствуя их окислению. Если же процесс нагрева происходит слишком быстро, выделение газообразных компонентов затрудняет доступ кислорода к сырью, замедляя окислительные реакции и создавая в порах восстановительную атмосферу вместо окислительной.

При быстром нагреве сырцовых гранул энергия используется для испарения воды, содержащейся в глине, что приводит к тому, что температура гранул остаётся ниже температуры подводящих газов. Для того чтобы процессы выгорания органических веществ в сырье протекали эффективно, необходимо, чтобы они начинались после удаления воды, присутствующей в глинистом сырье. Таким образом, свободный доступ кислорода к порам глины способствует окислению сначала с внешней стороны гранул, а затем и внутри них, что позволяет сжигать углерод, полученный из органических веществ в сырье.

На основе комплексных исследований сырцовых гранул были выбраны оптимальные температурные диапазоны для их термической подготовки. Результаты этих исследований показывают, что для рассматриваемых систем температура термоподготовки должна находиться в пределах 200–500°C (рисунок 36). Данные исследования представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Результаты исследований по определению температуры термоподготовки в зависимости от коэффициента вспучивания

Температура термоподготовки	Температура вспучивания	Коэффициент вспучивания
Сырьевая композиция с конгломератной смесью в системе «ЛС–Н»		
200	1150	1,6
300	1150	2,6
400	1150	2,6
500	1150	2,3
Сырьевая композиция с конгломератной смесью в системе «МП–Н»		
200	1150	1,5
300	1150	2,6
400	1150	2,6
500	1150	2,2

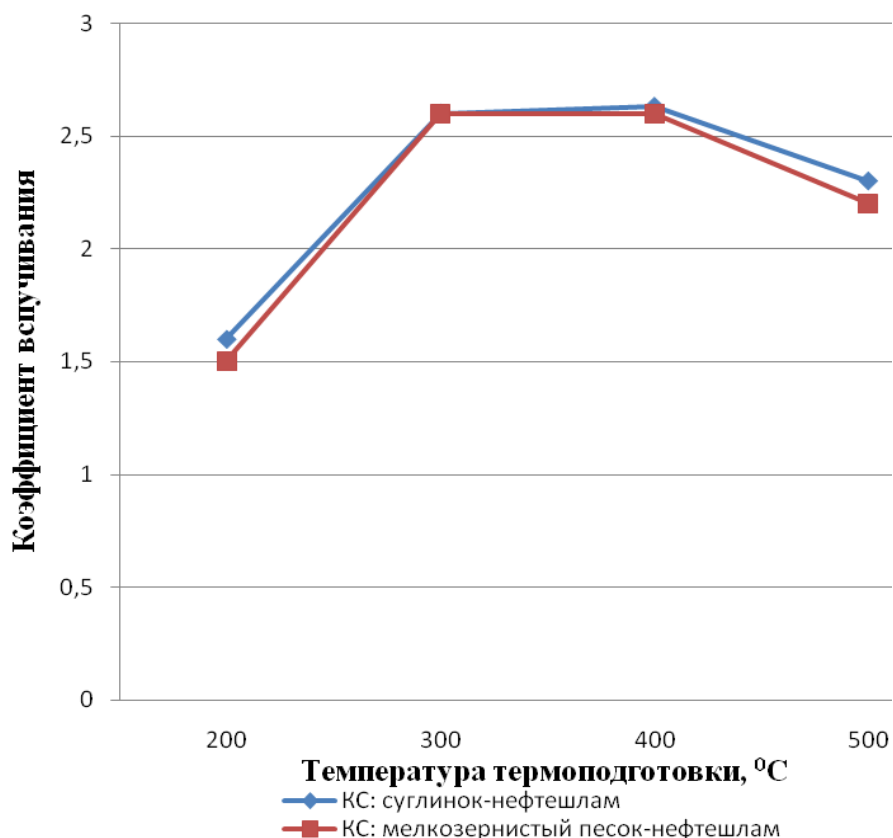


Рисунок 36 – Графическое представление зависимости температуры термоподготовки от коэффициента вспучивания для образцов, содержащих конгломератную смесь в системах «ЛС–Н» и «МП–Н»

Как показано на рисунке 35, оптимальными температурами для обеих рассматриваемых систем являются температуры в диапазоне 300–400 °C, поскольку в этом интервале коэффициент вспучивания составляет 2,63–2,64. При температуре выше 400 °C коэффициент вспучивания значительно снижается, что свидетельствует о снижении пористости гранул и их склонности к быстрому спеканию.

Обжиг в производственных условиях осуществляется в вращающихся барабанных печах. Завершающим и важным этапом, влияющим на прочность и форму обожженных гранул, является их охлаждение.

Ранее было установлено, что слишком быстрое охлаждение гранул может привести к образованию трещин на их поверхности, в то время как чрезмерно медленное охлаждение способствует их слипанию. В контексте окислительных процессов, когда FeO превращается в Fe₂O₃, это также может существенно снизить прочность гранул.

На основе проведенных исследований определен оптимальный режим охлаждения, направленный на укрепление структуры гранул и предотвращение перехода окисления железа, а также затвердевания

стеклофазы. Этот режим включает быстрое охлаждение керамзита до 800°C, затем медленное охлаждение в течение 15 минут до температуры 650°C, после чего охлаждение продолжается по стандартной технологии.

Таким образом, охлаждение керамзита начинается сразу после обжига во вращающейся печи, затем гранулы проходят охлаждение в холодильных установках, после чего поступают на грохоты для разделения по фракциям и далее — в бункер готовой продукции.

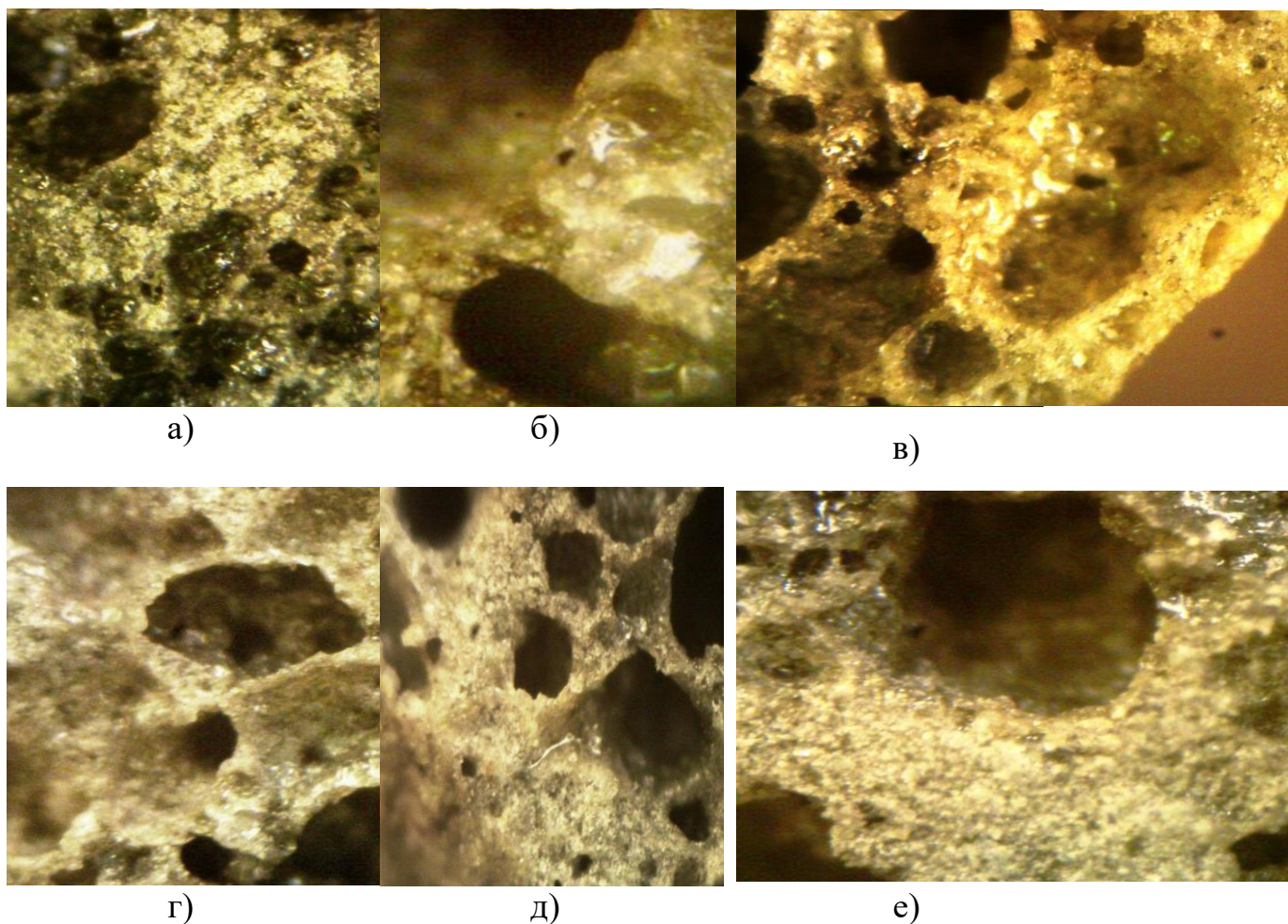
3.6 Исследование структуры керамических заполнителей на основе суглинков с добавлением конгломератной смеси в системах «лессовидный суглинок–нефтешлам» и «мелкозернистый песок–нефтешлам»

Вспучивание лессовидного суглинка в композициях конгломератных смесей, таких как «лессовидный суглинок–нефтешлам» и «мелкозернистый песок–нефтешлам» при быстром обжиге в соответствии с разработанным режимом, позволяет определить ключевые физико–механические характеристики и структуру конечного продукта. В результате этого процесса получается легкий пористый материал с мелкоячеистой структурой, низкой плотностью, высокой прочностью и отличными теплоизоляционными свойствами.

Степень вспучивания и формирование структуры в этих композициях зависят от оптимального сочетания компонентов, которые влияют на реологические свойства пиропластической массы. Это связано с особенностями структуры и состава кристаллических решеток минералов, таких как кальцит, гематит, кварц и органические вещества, присутствующие в исходных компонентах.

Значительную роль в процессе вспучивания и образовании структуры также играют сопутствующие минералы, такие как слюда, полевошпат, железо и щелочесодержащие минералы, а также органические вещества, содержащиеся в лессовидном суглинке и нефтешламе.

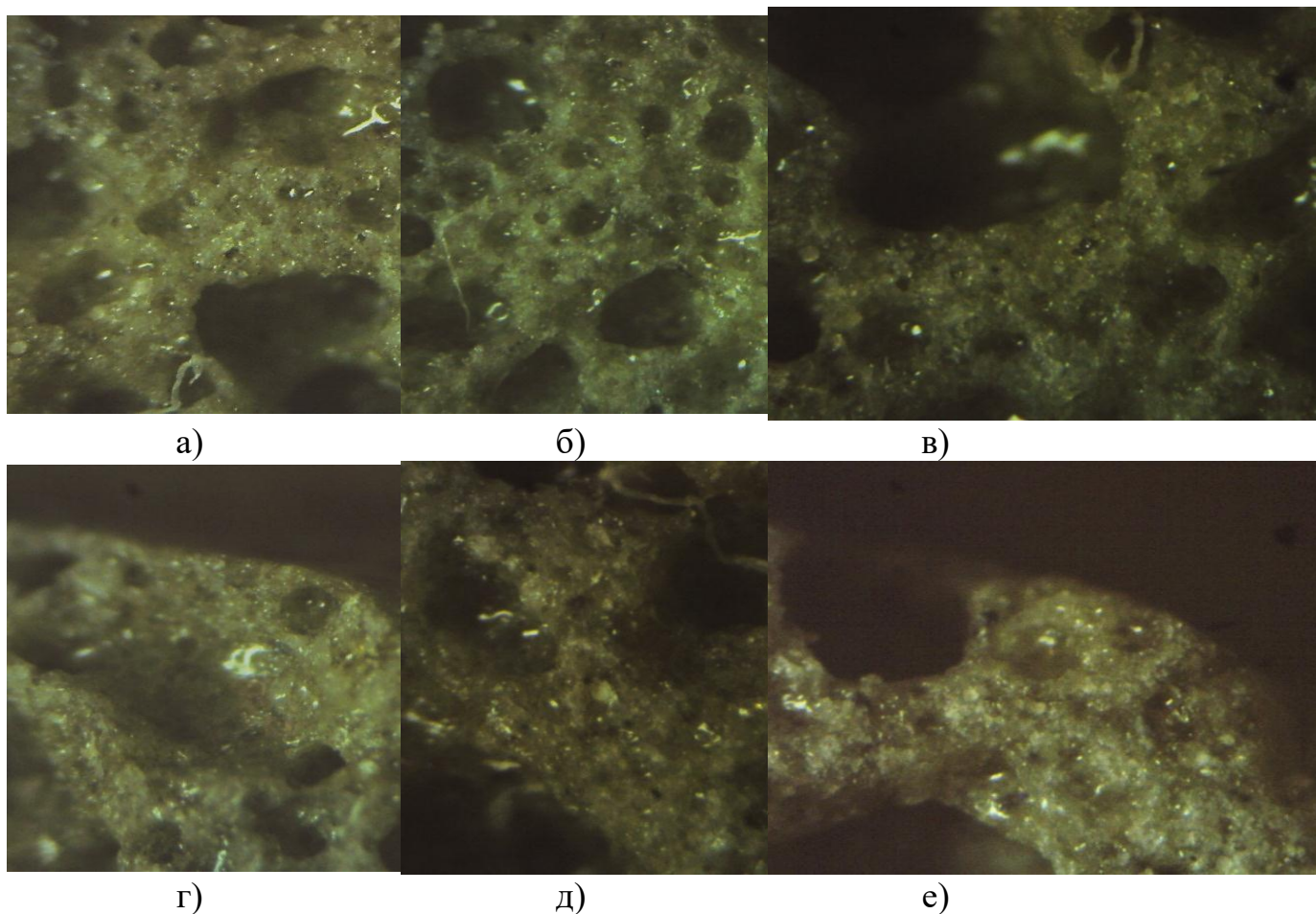
Оптимальные составы сырьевых шихт были определены с использованием метода математического планирования. Для систем на основе лессовидного суглинка с добавлением конгломератной смеси в системе «ЛС–Н» были выбраны составы с 10, 15 и 25 % конгломератной смеси, остальная часть — суглинок. Были исследованы микроструктуры керамзита, полученного методом пластического формования. Для проведения исследований использовался современный оптико–цифровой микроскоп модели «Webber G50s». Микроструктуры керамзита в системе «ЛС–Н» (10 и 15 % добавки) показаны на рисунках 37 и 38 при различных увеличениях.



а) увеличение $\times 100$; б, в) увеличение $\times 400$;
 г, д) увеличение $\times 600$. Внутренние структуры.
 е) увеличение $\times 400$. Краевая зона гранул.

Рисунок 37 – Микроструктура керамзита на основе суглинка с введением смеси в системе «ЛС–Н» (10 %):

Результаты исследования пористости керамзита, полученного на основе лессовидного суглинка с добавлением 10 % конгломератной смеси в системе «ЛС–Н», показали наличие широкого диапазона пор по размеру – от мелких (3–10 мкм) до крупных (до 40 мкм). Основная масса пор имеет округлую форму и равномерно распределена по объему материала. Крупные поры, вероятно, сообщаются между собой. Поверхность пор частично остеклована, что указывает на формирование значительного количества эвтектического расплава в процессе обжига.



а, б) увеличение x100. Внутренняя структура.
 в) увеличение x100. Краевая зона гранул.
 г, д) увеличение x200. Внутренняя структура.
 е) увеличение x200. Краевая зона гранул.

Рисунок 38 – Микроструктура керамзита на основе суглинка с введением смеси в системе «ЛС–Н» (15 %):

Краевая зона гранул отличается наличием уплотнённого слоя с закрытой пористостью, что представляет собой положительный технологический эффект. Такая структура способствует увеличению прочности гранул, снижению их водопоглощения, а также уменьшает потребность в воде и вяжущих материалах при приготовлении бетонных смесей, обеспечивая требуемую подвижность.

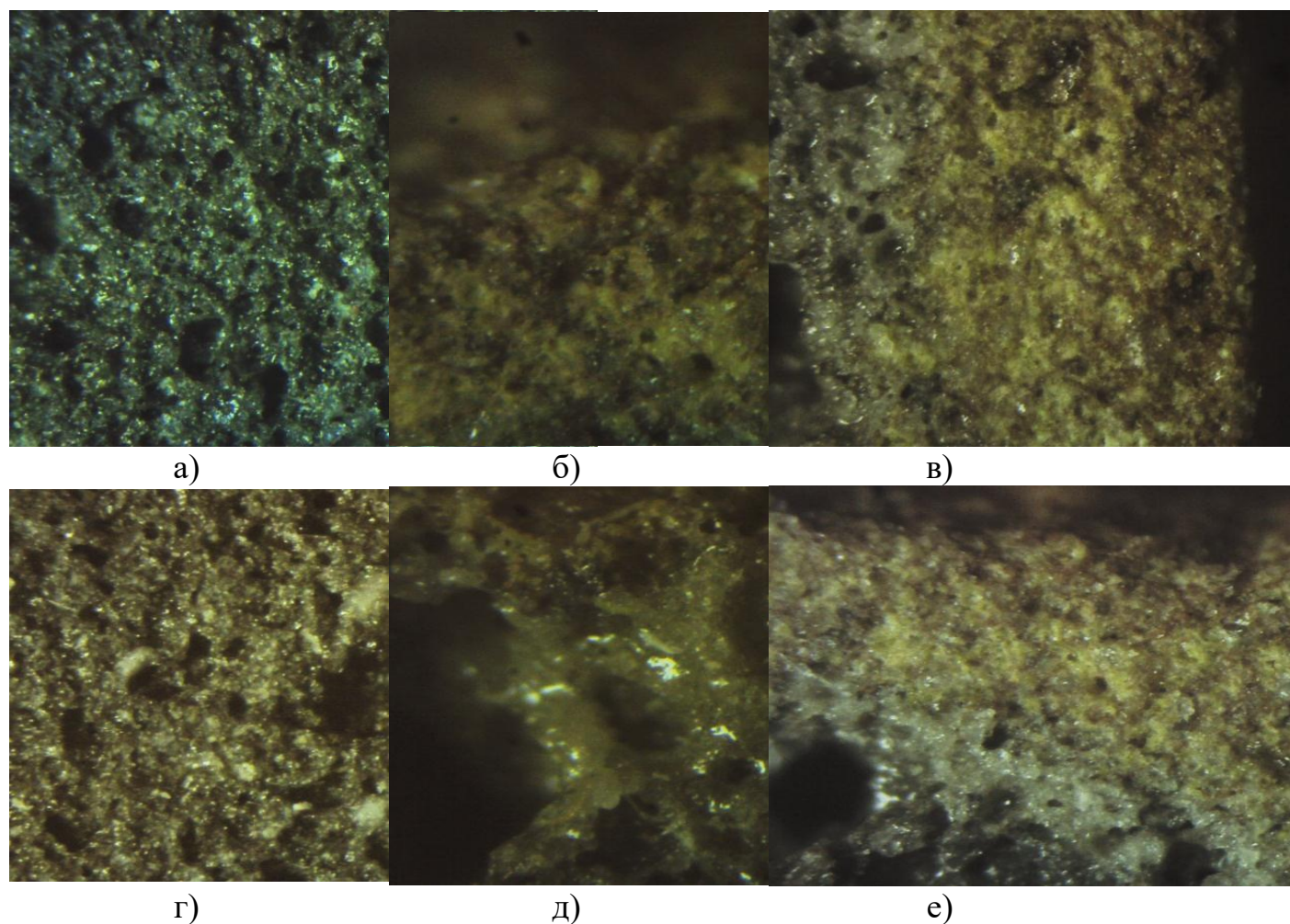
Анализ пористости и плотной поверхности с закрытыми порами, выполненный с применением электронно-микроскопического метода, позволяет выявить закономерности процессов структурообразования и вспучивания исследуемых образцов.

Следует подчеркнуть, что наличие спечённой, плотной, водонепроницаемой оболочки у гранул пористого материала является

значимым преимуществом, обусловленным технологическими условиями обжига. Формирование прочностных характеристик и пористой структуры заполнителя напрямую связано с контактным спеканием частиц сырьевой смеси, активируемым за счёт выгорания органических веществ, содержащихся в нефтешламе.

Дополнительно были проведены исследования микроструктуры образцов заполнителя оптимальных составов на основе лессовидного суглинка с введением конгломератной смеси в системе «МП–Н» в количествах 15 и 25 %.

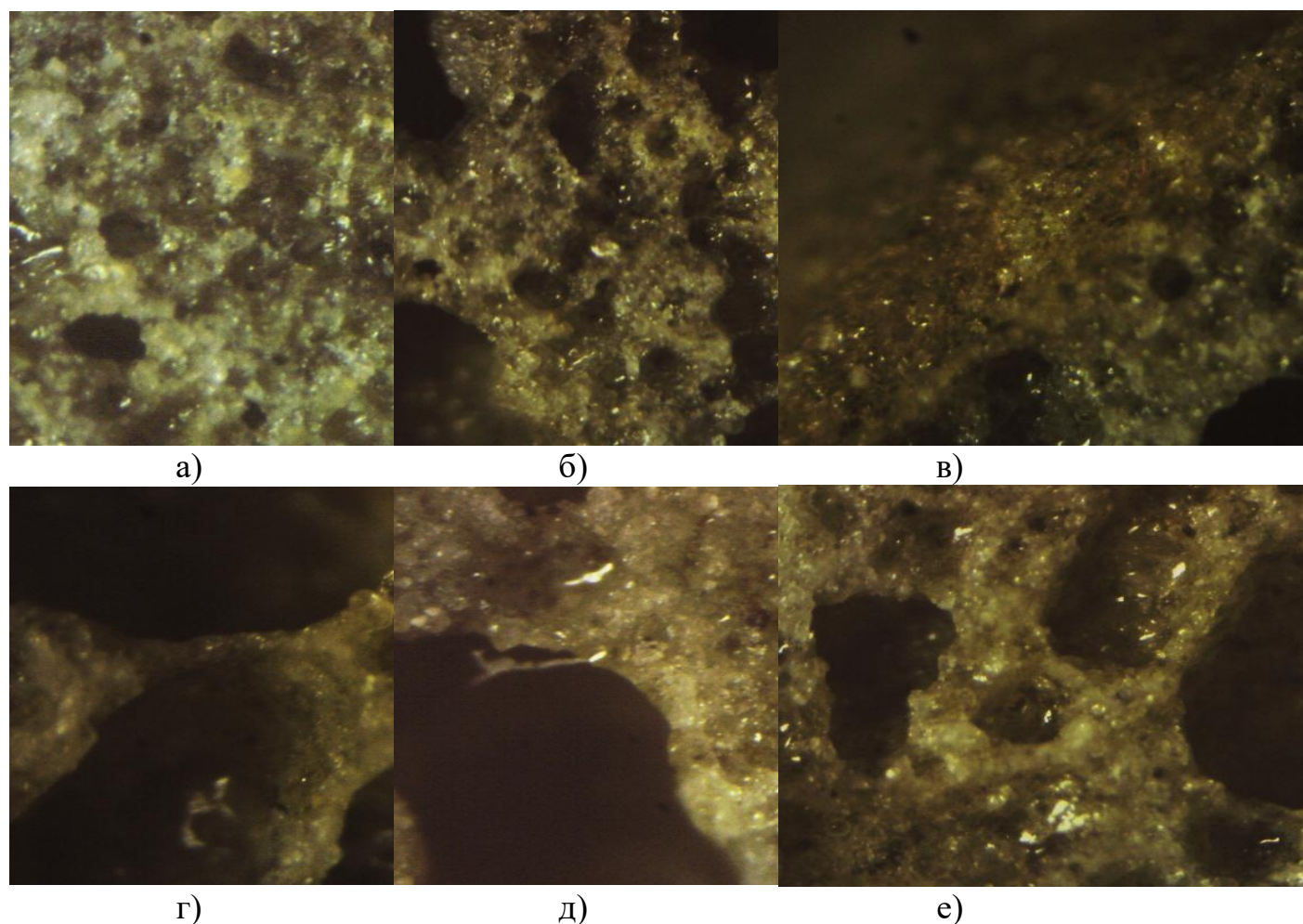
Результаты анализа микроструктуры заполнителя с добавлением 15 и 25 % конгломератной смеси приведены на рисунках 39 и 40.



а, б) увеличение $\times 100$. Внутренняя структура; в, г) увеличение $\times 100$. Краевая зона гранул; д) увеличение $\times 200$. Внутренняя структура; е) увеличение $\times 200$. Краевая зона гранул.

Рисунок 39 – Микроструктура керамзита на основе суглинка с введением конгломератной смеси в композиции «МП–Н» (15 %) в различных увеличениях:

Микроструктурный анализ образца заполнителя с добавлением 15% конгломератной смеси (рисунок 39) демонстрирует характерную для керамзита структуру. Внутренняя часть гранул имеет пористое строение тёмного цвета, что указывает на восстановление оксидов железа, происходящее в условиях ограниченного доступа кислорода. Этот процесс сопровождается интенсивным газовыделением за счёт разложения органических соединений, содержащихся в нефтешламе, и способствует активному вспучиванию материала. Наружный слой гранул представлен плотной коркой коричневатого оттенка, сформировавшейся в окислительной атмосфере за счёт полного сгорания топлива. Отдельно следует подчеркнуть высокую твёрдость и прочность наружной оболочки, что делает полученный керамзит перспективным для применения в качестве заполнителя в производстве высокопрочных бетонов.



а, б) увеличение $\times 100$. Внутренняя структура;
 в) увеличение $\times 100$. Краевая зона гранул; г, д) увеличение $\times 200$. Внутренняя структура;
 е) увеличение $\times 200$. Краевая зона гранул.

Рисунок 40 – Микроструктура керамзита на основе суглинка с добавлением конгломератной смеси в композиции «МП–Н(25 %)» в различных увеличениях:

На основании анализа микроструктуры заполнителя, представленного на рисунке 40, полученного из лессовидного суглинка с введением 25 % конгломератной смеси в системе «мелкозернистый песок – нефтешлам», установлено, что поры преимущественно имеют округлую форму. Их распределение в объёме материала близко к равномерному. Отдельные крупные поры являются сообщающимися.

Краевая зона гранул характеризуется наличием плотной оболочки, формирование которой способствует снижению водопоглощения и повышению прочностных характеристик заполнителя. Поверхность гранул отличается выраженной шероховатостью, что обеспечивает улучшенное сцепление с цементным тестом в составе бетонной смеси.

Таким образом, микроскопическое исследование структуры заполнителей, включая морфологию пор и характер краевой зоны, подтверждает наличие ячеистой структуры с равномерным распределением пор. Плотная наружная корка выполняет водоизолирующую функцию, а шероховатая поверхность повышает адгезионные свойства материала в бетонах.

3.7 Анализ фазового состава керамзита, полученного на основе систем «лессовидный суглинок–нефтешлам» и «мелкозернистый песок–нефтешлам»

Проведён рентгенофазовый анализ образцов керамзита, полученных на основе лессовидного суглинка с добавлением конгломератной смеси в системах «лессовидный суглинок–нефтешлам» (ЛС–Н) и «мелкозернистый песок–нефтешлам» (МП–Н). Результаты проведённого анализа представлены на рисунках 41, 42, 43 и 44.

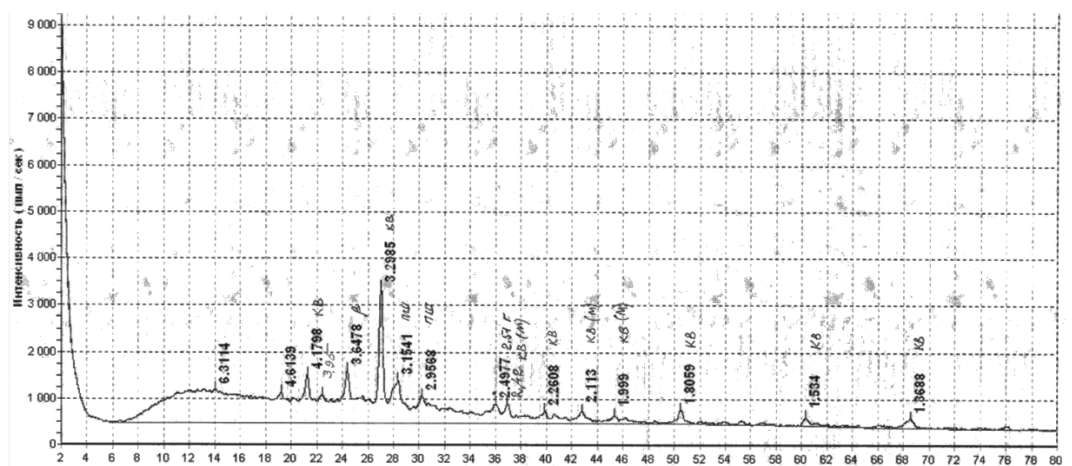


Рисунок 41 – Рентгенофазовый анализ пробы керамзита на основе суглинка с введением смеси в системе «ЛС–Н» (10 %)

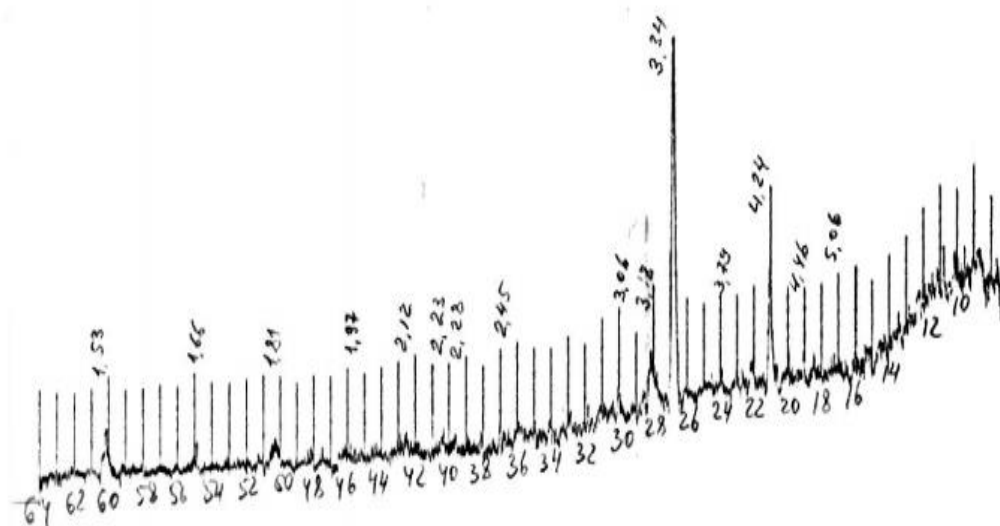


Рисунок 42 – Результаты РФА пробы керамзита на основе суглинка с введением смеси в системе «ЛС–Н» (15 %)

Для более детального исследования новообразований, образовавшихся в процессе обжига керамзита на основе лессовидного суглинка с органоминеральной добавкой, состоящей из нефтешлама, в системах «лессовидный суглинок – нефтешлам» и «мелкозернистый песок – нефтешлам», был проведён рентгенофазовый анализ (рисунки 43 и 44).

В пробах керамзита на основе лессовидного суглинка с добавлением конгломератной смеси в системе «МП–Н» при содержании добавки 10 и 15% были выявлены следующие компоненты: оксид кремния (d/п: 4,2; 3,3; 2,4; 2,3; 2,2; 2,12; 1,9; 1,8; 1,66; 1,53 Å), полевого шпат (d/п: 3,18; 2,28; 1,53 Å), и монтмориллонит (d/п: 5,1; 4,4; 3,7; 3,1; 2,5; 2,3; 2,2; 1,9; 1,8; 1,7 Å).

Результаты рентгенофазового анализа показывают, что кристаллический состав проб является практически идентичным, в основном представленным кварцем (КВ) и полевыми шпатами (ПШ). Следует отметить, что полевошпатные компоненты, подвергшиеся обжигу, трансформировались в анортит, так как их пики практически совпадают.

В исследуемых образцах также был выявлен муллит (М) с характеристиками d/п: 2,43, 2,1195, 2,0036 Å, что указывает на модификацию компонентов, таких как каолинит, кальцит и гидрослюда в процессе обжига.

Отсутствие оксидов железа свидетельствует об их взаимодействии с другими компонентами или о переходе в аморфное состояние. Аморфность всех исследуемых проб была сравнительно низкой.

Высокое содержание SiO_2 в песке вступает в реакцию с частицами Al_2O_3 , образуя муллит и тем самым улучшая пластичность керамических масс. Полевой шпат, в свою очередь, способствовал снижению температуры обжига.

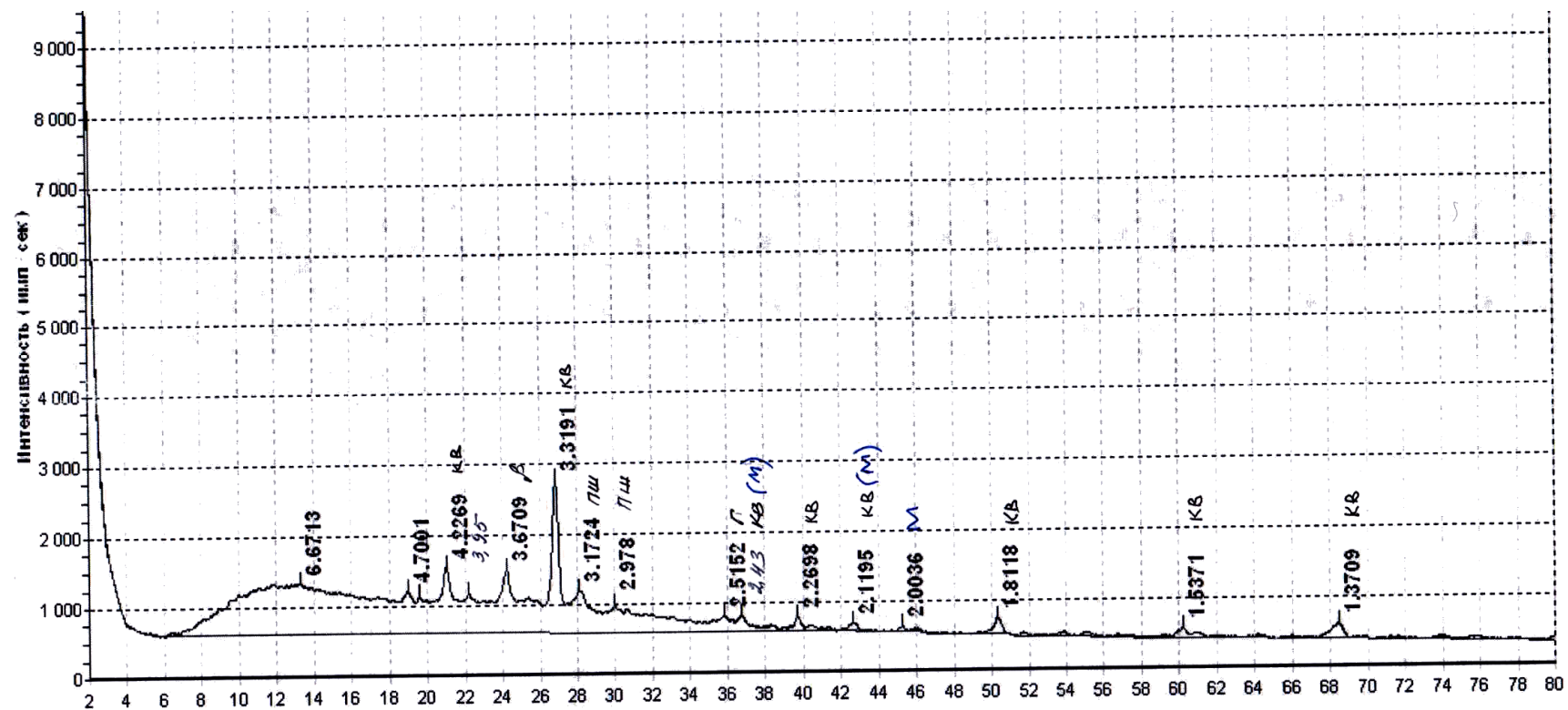


Рисунок 43 – Результаты РФА пробы керамзита на основе суглинка с введением смеси в системе «МП–Н» (15 %)

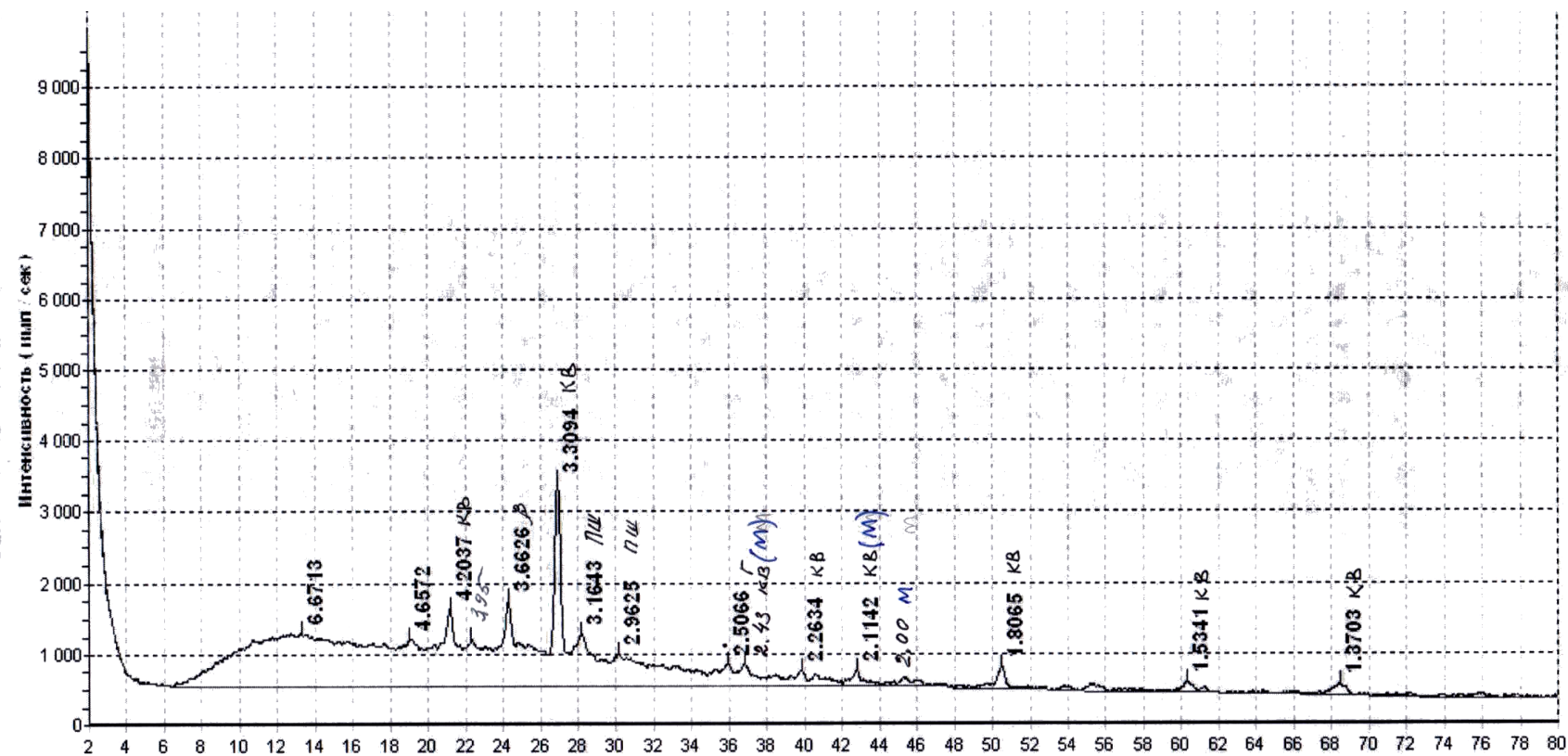


Рисунок 44 – Результаты РФА пробы керамзита на основе суглинка с введением смеси в системе «МП-Н» (25 %)

Анализ свойств керамзита в двух исследуемых системах при температурах обжига 1150°C позволяет сделать следующие выводы:

1. Наблюдается увеличение содержания жидкой фазы, при этом интервал спекания варьирует в пределах 50–100 °С, что является оптимальным для процесса вспучивания керамической массы, благодаря достаточному содержанию железистых компонентов и органических веществ в сырьевых материалах.

2. Горение органической части нефтешлама в составе керамических масс оказывает заметное влияние на увеличение коэффициента вспучивания, который превышает 2,6, а также на снижение температуры обжига керамзита по сравнению с традиционными методами производства.

3. В обожжённом материале формируется мелкозернистая пористая структура, что способствует улучшению прочностных характеристик конечного продукта. Получению пористой и прочной структуры керамзита содействовало введение конгломератных смесей с нефтешламом в составе керамических масс. Мелкозернистый песок в составе керамических масс обволакивает матрицу материала, что в свою очередь повышает прочностные свойства готовой продукции. Также он способствует образованию каркасной матрицы в пористой структуре керамзита, что объясняет повышенные прочностные характеристики исследуемых образцов.

Выводы по главе 3.

1. Разработка технологических решений.

Предложены и реализованы технологические подходы по переводу нефтешламов из высоковязкого состояния в сыпучее конгломератное в составе систем «ЛС–Н» и «МП–Н». Подобрано технологическое оборудование, обеспечивающее получение однородных, сыпучих конгломератных смесей, модифицированных нефтешламами.

2. Исследование микроструктуры.

Результаты микроструктурного анализа конгломератных смесей указанных систем подтвердили, что переход нефтешлама в сыпучее агрегированное состояние обеспечивает формирование равномерной, однородной гомогенной массы.

3. Технологические преимущества использования конгломератных смесей на основе нефтешламов.

Переход нефтешлама в сыпучее конгломератное состояние обеспечивает ряд существенных технологических преимуществ:

- улучшение условий последующих операций, в частности перемешивания и формования, за счёт получения однородной массы;
- смолистые фракции нефтешламов выполняют функцию внутренней смазки, способствуя более эффективной работе двухвальных смесителей и снижая износ оборудования;

– перевод нефтешламов в состав конгломератных смесей способствует снижению класса их экологической опасности, переводя их из категории опасных веществ в менее опасные.

4. Оптимизация составов керамических масс.

Разработаны и оптимизированы составы керамических композиций в рамках двух исследуемых систем – «ЛС–Н» и «МП–Н».

5. Температурные режимы термоподготовки.

Экспериментальные данные показали, что оптимальный температурный режим термоподготовки керамзита на основе лессовидного суглинка с добавлением конгломератных смесей находится в пределах 300–400 °С, обеспечивая наиболее стабильную подготовку материала к последующему обжигу.

6. Зависимость свойств от содержания конгломератной смеси.

Изучена зависимость физико–механических характеристик образцов от содержания конгломератной смеси в составе сырьевых систем. В системе «ЛС–Н» увеличение содержания смеси от 10 до 25 % сопровождается существенным ростом прочностных показателей при снижении насыпной плотности до 440 кг/м³. В системе «МП–Н» при содержании смеси от 5 до 15 % наблюдается незначительное снижение насыпной плотности до 633 кг/м³ и прочности от 4,35 до 4,0 МПа. При дальнейшем увеличении доли конгломератной смеси до 25 %, достигается повышение прочности до 5,93 МПа при небольшом росте насыпной плотности. Однако, последующее увеличение содержания смеси приводит к снижению коэффициента вспучивания до 2,2. Для образцов в системе «лессовидный суглинок – нефтешлам» коэффициент вспучивания превышает 2,5, что свидетельствует об их высокой эффективности как лёгкого пористого заполнителя.

7. Особенности структурообразования керамзита.

Проведённый комплекс исследований микроструктуры керамзита позволил выявить ключевые особенности формирования его пористой структуры. Установлено, что введение нефтешлама, содержащего органические соединения (смолы, нафтенy, парафины), оказывает существенное влияние на процессы структурообразования. Вспучивание керамической массы происходит за счёт образования и накопления жидкой фазы в процессе обжига, при этом восстановительная атмосфера способствует интенсификации процесса плавления и увеличению объёма расплава.

8. Роль нефтешлама в формировании структуры и прочности.

В разработанных составах нефтешлам выполняет комплексную функцию: на стадии обжига он выступает как выгорающая добавка, способствующая вспучиванию, а в процессе охлаждения проявляет катализирующее действие, что способствует формированию

стеклокристаллической структуры с прочным пространственным каркасом. Это улучшает прочностные характеристики готового материала.

9. Температурные особенности обжига.

Опытные данные показали, что введение нефтешлама в состав керамических масс позволяет снизить температуру обжига на 50–100°C. При этом сохраняется необходимая динамика спекания — температурный интервал спекания превышает 50°C, что обеспечивает стабильность процесса и высокое качество получаемого материала.

4. РАЗРАБОТКА МОДИФИЦИРУЮЩИХ И ЭНЕРГОВЫДЕЛЯЕМЫХ КОНГЛОМЕРАТНЫХ СМЕСЕЙ В СИСТЕМЕ «ЛЕССОВИДНЫЙ СУГЛИНОК–НЕФТЕШЛАМ» И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛУЧЕНИЯ КИРПИЧА НА ИХ ОСНОВЕ

4.1 Технологические решения перевода нефтешлама в конгломератное состояние при получении керамического кирпича

Введение нефтешлама в состав керамической массы требует научно обоснованного подхода, поскольку глинистое сырьё относится к неорганическим силикатным системам, тогда как нефтешлам – к органическим углеводородным. По мнению С.Ф. Кореньковой и Т.В. Шейна, нефтешламы представляют собой нефтяные дисперсные системы коллоидно–химического происхождения – слабоконцентрированные суспензии, содержащие минеральные частицы с адсорбированными высокомолекулярными органическими веществами (дисперсная фаза) в эмульсии «вода – масла» (дисперсионная среда).

Добавление нефтешлама в глинистую массу сопровождается рядом технологических сложностей: мгновенное комкование за счёт впитывания в пористую структуру лессовидного суглинка, локальность взаимодействия, препятствующая равномерному распределению, а также невозможность его использования без предварительной технологической подготовки.

Для преодоления указанных проблем была сформулирована задача перевода нефтешлама из жидкосуспензионного состояния в сыпучее, приближённое по физико–механическим характеристикам к глинистому сырью. Это решение позволяет обеспечить равномерность распределения, сохранить высокую концентрацию активного компонента в составе и повысить энергоэффективность процесса производства керамических материалов.

В рамках выполнения поставленных задач лессовидный суглинок предварительно подвергался сушке в лабораторном сушильном шкафу при температуре 100–120°C до достижения остаточной влажности в пределах 5–7%. После сушки исходный материал измельчался в шаровой мельнице до степени тонкости, обеспечивающей его полное прохождение через сито с размером отверстий 1 мм. Для проведения дальнейших экспериментальных работ все компоненты дополнительно перерабатывались в лабораторной шаровой мельнице марки МШЛ–1П до получения удельной поверхности в диапазоне 1500–2000 см²/г.

Образец шлама, полученного во время очистки резервуаров, перемешивался для получения однородного состава. По результатам анализа, усреднённый нефтешлам характеризовался следующими

показателями: показатель вязкости при 80°С – 2,1; плотности при 20° С – 970кг/м³; количество НП – 34,0–37,1мас.%; водной составляющей – 28–35,4мас.%; различных примесей –4,–44,7мас.%. Также в его составе были выявлены природные эмульгаторы: смолы, асфальтены и высокоплавкие парафины.

В условиях хранения нефтешлам представляет собой нестабильную суспензию, склонную к расслаиванию. В ёмкостях наблюдается условное разделение материала на три фракции: верхняя – лёгкие нефтяные фракции, средняя и нижняя – более тяжёлые компоненты. Для получения однородной по составу массы и обеспечения равномерного распределения всех фракций нефтешлама, проводилось усреднение в мешалке пропеллерного типа. После данной процедуры плотность усреднённого нефтешлама составляла 820–850кг/м³.

Далее осуществлялось объемное дозирование компонентов системы «лессовидный суглинок–нефтешлам» («ЛС–Н») с последующим перемешиванием в лабораторной бегунковой мешалке. В результате получена сыпучая органоминеральная смесь (конгломерат) средней плотности 1000–1100кг/м³.

Критерием успешного перевода системы в сыпучее конгломератное состояние служила влажность полученной смеси. Основной целью данного этапа экспериментальных исследований было определение предельно допустимой и одновременно оптимальной влажности, при которой обеспечивается удобство переработки смеси в дальнейших стадиях технологического цикла производства стеновых керамических изделий.

Компонентный состав исследуемых образцов по объёму приведён в таблице 16.

Таблица 16 – Исследуемые компонентные соотношения по объёму в системе «ЛС–Н»

№	Соотношение компонентов по объёму		Влажность, %
1.	суглинок: нефтешлам	1 : 1	35,2
2.	суглинок: нефтешлам	1 : 2	26,5
3.	суглинок: нефтешлам	1 : 3	17,4
4.	суглинок: нефтешлам	1 : 4	15,3
5.	суглинок: нефтешлам	1 : 5	12,3

Результаты исследований показали, что наилучшие характеристики по влажности показали составы № 4 и № 5. Их влажность находится в пределах 12,3–15,3%, что сопоставимо с природной (карьерной) влажностью лессовидных суглинков. Указанные составы сохраняют необходимую сыпучесть, что создаёт благоприятные условия для технологических операций, таких как транспортировка, хранение, дозирование и равномерное перемешивание с основным компонентом. Для

практической реализации данных процессов в производстве кирпича разработана технологическая схема перевода нефтешлама в органоминеральную конгломератную форму (рисунок 45).

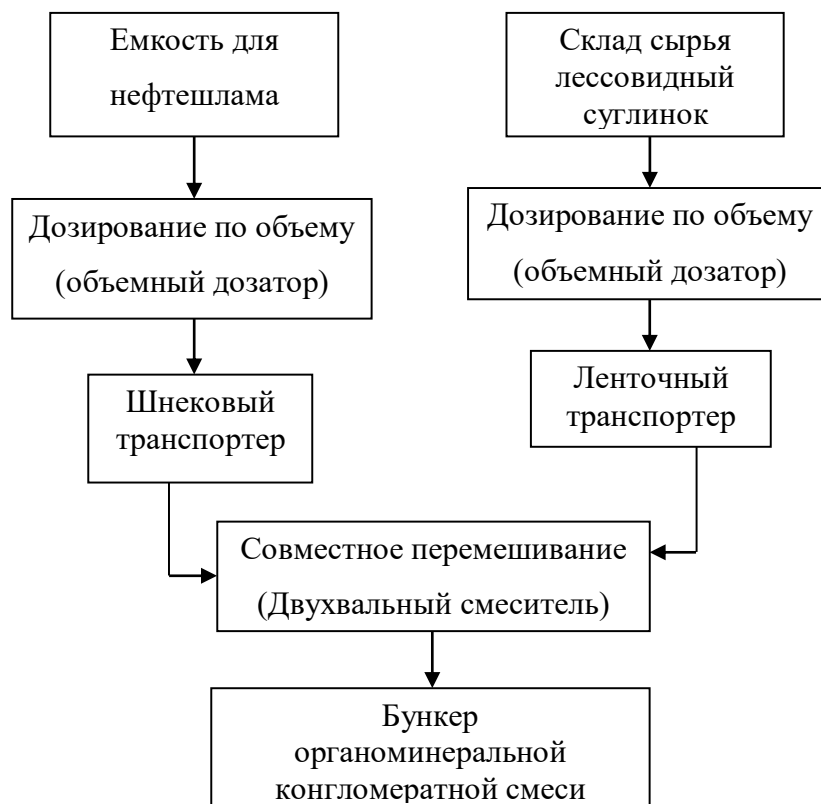


Рисунок 45 – Технологическая схема перевода нефтешлама в сыпучее состояние

В условиях производственного процесса нефтешлам транспортируется в герметичных контейнерах и доставляется на специализированный склад для его временного хранения. Далее материал переливается из тары в специальные резервуары–цистерны. Из этих цистерн нефтешлам посредством объемных дозирующих устройств подается в шнековый транспортер. Одновременно с этим, барханный песок, находящийся на складе сыпучего сырья, также посредством объемных дозаторов подается на ленточный транспортер.

Оба компонента поступают в двухвальный смеситель, где осуществляется их одновременное перемешивание с целью получения однородной органоминеральной массы. Полученная конгломератная смесь транспортируется ленточным транспортером в накопительный бункер, снабжённый объемным дозатором. Из данного бункера материал в необходимом количестве подается в качестве технологической добавки при изготовлении керамического кирпича.

После предварительного усреднения было установлено, что плотность нефтешлама колеблется в пределах 820–850 кг/м³. Исследование микроструктурных характеристик сформированного органоминерального конгломерата осуществлялось с использованием методов электронной микроскопии.

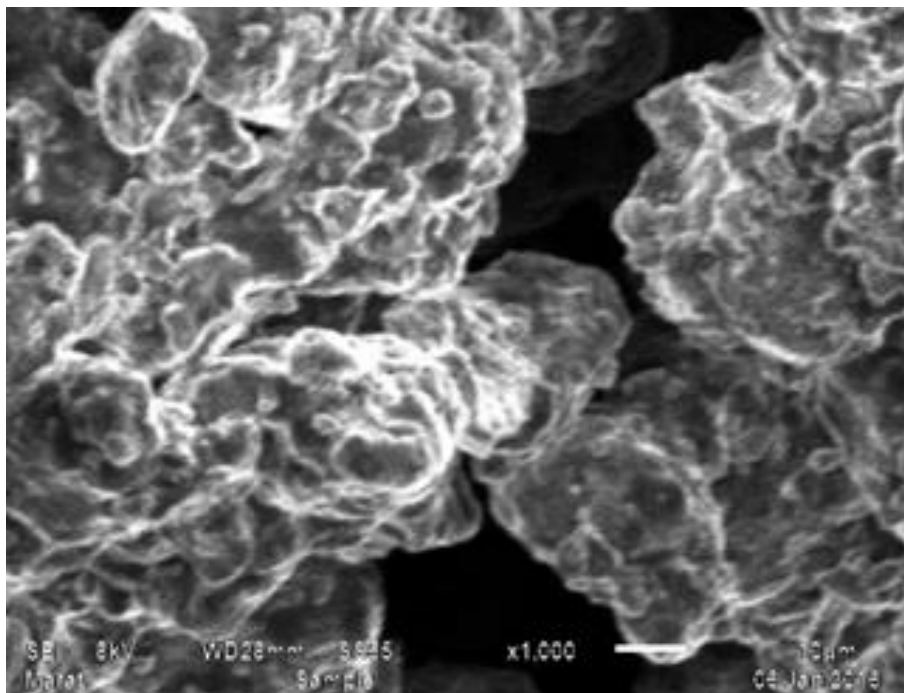


Рисунок 46 – Микроструктура конгломератной смеси с нефтешламом

Анализ, выполненный с использованием методов электронной микроскопии (рисунок 46), свидетельствует о том, что тонкодисперсная фракция суспензии нефтешлама активно проникает в поровое пространство лессовидного суглинка, формируя прочные контактные взаимодействия между частицами.

В сформированной структуре органоминерального конгломерата лессовидный суглинок, предварительно измельчённый до тонкодисперсного состояния, выполняет роль дисперсионной среды, в то время как нефтешламная суспензия функционирует в качестве дисперсной фазы.

4.2 Исследования составов и свойств керамических масс на стадии сушки при производстве керамического кирпича

На следующем этапе научно–экспериментальных работ была проведена серия исследований, направленных на изучение свойств керамических масс, сформированных на основе лессовидного суглинка с

добавлением органоминеральной конгломератной смеси, содержащей нефтешлам.

В качестве исходного сырья использовался лессовидный суглинок, который предварительно подвергался сушке, а затем измельчался в лабораторной шаровой мельнице до достижения удельной поверхности в пределах 1200–1500 г/см². После этого компоненты в необходимых пропорциях тщательно взвешивались и перемешивались в сухом состоянии. Далее в сухую смесь добавлялась вода для получения пластичной массы.

На основе полученного материала формировалась керамическая масса с оптимальной формовочной влажностью, варьирующей в пределах 23–25 %. Из этой массы изготавливались цилиндрические образцы диаметром и высотой по 50 мм методом пластического формования. Отформованные изделия подвергались сушке в сушильном шкафу при температуре 75–85 °С со скоростью нагрева 8–10 °С в час до достижения остаточной влажности 7–8 %.

Сырьевая композиция каждого исследуемого варианта подбиралась путем точного дозирования и взвешивания компонентов. Составы керамических масс, использованные в эксперименте, – «лессовидный суглинок–конгломератная смесь с нефтешламом» («ЛС–КСН») представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Составы керамических масс

№ состава	Содержание компонентов, масс %	
	лессовидный суглинок	КСН
1	95,00	5,00
2	93,00	7,00
3	90,00	10,00
4	85,00	15,00
5	80,00	20,00

В рамках проведённого исследования в качестве основных параметров, характеризующих сушильные свойства керамических масс, были выбраны коэффициент чувствительности к сушке и величина воздушной усадки. В связи с этим, до начала этапа термической обработки были осуществлены экспериментальные исследования, направленные на установление зависимости указанных показателей от варьирования компонентного состава сырьевой смеси. Полученные экспериментальные данные представлены на рисунках 47 и 48.

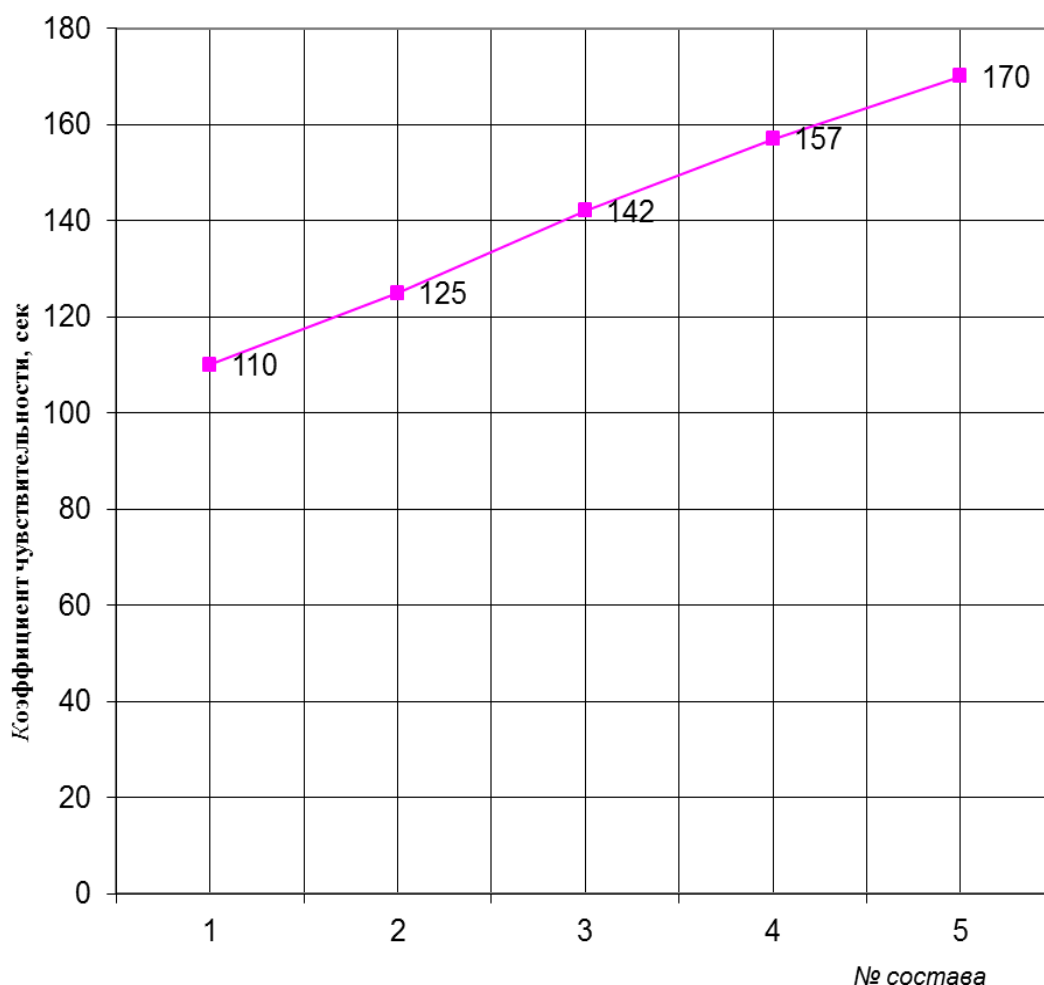


Рисунок 47 – Зависимость коэффициента чувствительности к сушке от состава композиции

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о том, что с увеличением содержания органоминеральной конгломератной добавки, содержащей нефтешлам, отмечается устойчивая тенденция к возрастанию времени, по истечении которого в структуре керамической массы начинают формироваться трещины, обусловленные процессами сушки. Зафиксировано увеличение данного временного интервала с 110 до 170 секунд.

Подобное поведение можно объяснить наличием в составе органоминеральной добавки компонентов, обладающих поверхностно-активными свойствами – в частности, фракций нефти и смол. Предполагается, что данные вещества усиливают влагосвязывающие и пластические свойства керамической массы, способствуя более равномерному распределению влаги и её постепенному испарению при тепловом воздействии. Это, в свою очередь, приводит к повышению устойчивости материала к образованию трещин в процессе сушки.

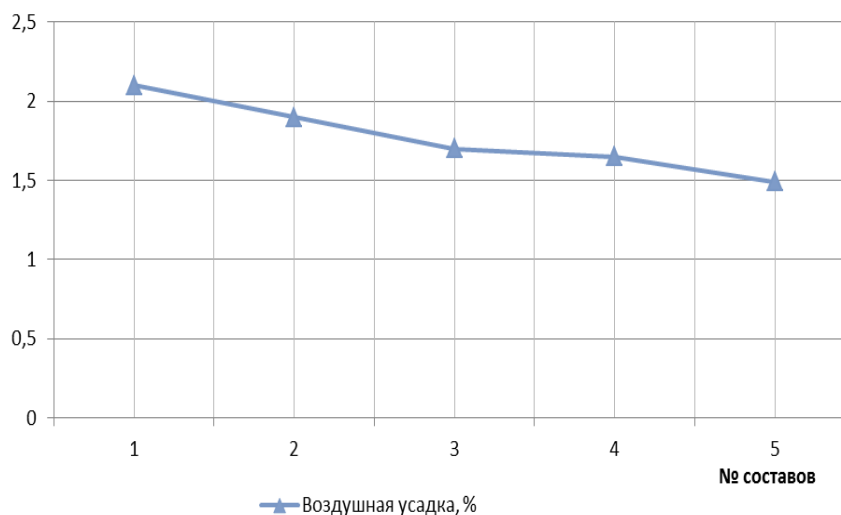


Рисунок 48 – Зависимость воздушной усадки от состава композиции

Результаты анализа динамики изменения показателей воздушной усадки демонстрируют, что при увеличении доли органоминеральной конгломератной добавки, содержащей нефтешлам, наблюдается устойчивая тенденция к снижению значений воздушной усадки — с 2,1 до 1,49%.

Подобный эффект, вероятно, обусловлен присутствием в составе добавки таких компонентов, как асфальтены, смолы, парафин и нефть, которые оказывают стабилизирующее влияние на структуру формируемой керамической массы как на микро–, так и на макроуровне. Эти вещества способствуют формированию более упорядоченной упаковки частиц, ограничивая их дальнейшее сближение при интенсивном испарении влаги на этапе сушки.

Выявленные закономерности изменения структурно–технологических характеристик керамических масс находят подтверждение в результатах электронной микроскопии, представленных на рисунке 49.

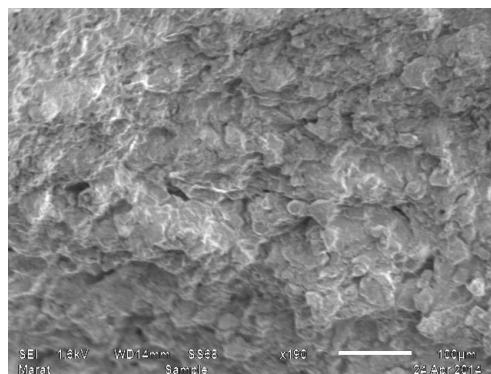


Рисунок 49 – Электронный снимок конгломератной смеси с нефтешламом (КСН)

В результате данной технологической операции нефтешлам трансформируется из суспензионного состояния в сыпучую органоминеральную массу, что обеспечивает его удобную форму для последующих этапов обработки – таких как дозированное введение и равномерное распределение в процессе смешивания с лессовидным суглинком.

4.3 Исследования составов и физико–механических свойств разработанных составов

Процессы формирования силикатной фазы в керамических массах в условиях обжига сопровождаются комплексом термохимических преобразований, приводящих к усадке или, в отдельных случаях, расширению материала, а также к значительным изменениям физических и механических характеристик изделий в зависимости от температурного режима.

Необходимость выявления этих закономерностей обусловлена задачей оптимизации температурных параметров термообработки для получения керамических изделий с рационально подобранным составом и высокими эксплуатационными показателями.

На данном этапе исследования были поставлены следующие цели:

- определить оптимальный температурный интервал обжига;
- исследовать ключевые физико–механические параметры образцов, прошедших термообработку, с целью оценки их качества и степени завершенности обжиговых процессов;
- установить основные зависимости между температурой обжига и изменением исследуемых свойств.

В качестве критериев, отражающих эксплуатационные характеристики керамического материала, были выбраны следующие параметры: усадка после обжига, пределы по прочности, как при сжатии, так и при изгибе, усредненная плотность, показатель водопоглощения, а также коэффициент теплопроводности.

Дальнейший этап научно–экспериментальных исследований был направлен на установление закономерностей изменения физико–механических характеристик керамических материалов в зависимости от режима температурной обработки. Работы выполнялись в соответствии со следующей методикой:

- лессовидный суглинок предварительно измельчался в лабораторной шаровой мельнице до степени помола, обеспечивающей полное прохождение через сито с размером ячеек 1мм;
- органоминеральная конгломератная добавка с нефтешламом готовилась отдельно;

- компоненты сырьевой композиции дозировались с использованием электронных весов;
- полученные материалы перемешивались в лабораторной мешалке с добавлением расчетного количества воды до достижения требуемой пластичности;
- формовка образцов в виде цилиндров размером 5×5×5 см осуществлялась методом пластического формования;
- сушку образцов проводили в сушильном шкафу при температуре 70–80°C с контролируемой скоростью нагрева 8–10°C в час до достижения остаточной влажности 4–5%;
- термообработка образцов проводилась в муфельной печи при температурах 800, 900, 950, 1000 и 1100°C с темпом нагрева 90–100 °C в час. Продолжительность изотермической выдержки при заданной температуре составляла 1 час. Охлаждение образцов осуществлялось в выключенной печи до достижения комнатной температуры.

После охлаждения все образцы были подвергнуты испытаниям на определение физико–механических свойств. Полученные результаты приведены в таблицах 18–21 и соответствующих графических материалах (рисунки 50–53).

Таблица 18 – Физико–механические свойства исследуемых образцов при температуре 800°C

№ составов	Коэффициент чувствит. к сушке, сек.	Темп. обжига, °C	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Теплопроводность, Вт/м.К	Водопоглощение, %	Воздушная усадка,	Огневая усадка, %
1	111	800	1710	6,1	1,42	0,38	27	2,1	0,6
2	126		1670	5,7	1,3	0,36	7,6	1,9	0,71
3	143		1660	5,14	1,26	0,35	28	1,7	0,8
4	156		1655	4,87	0,91	0,32	28	1,6	1,12
5	172		1647	4,42	0,86	0,3	28	1,5	1,64

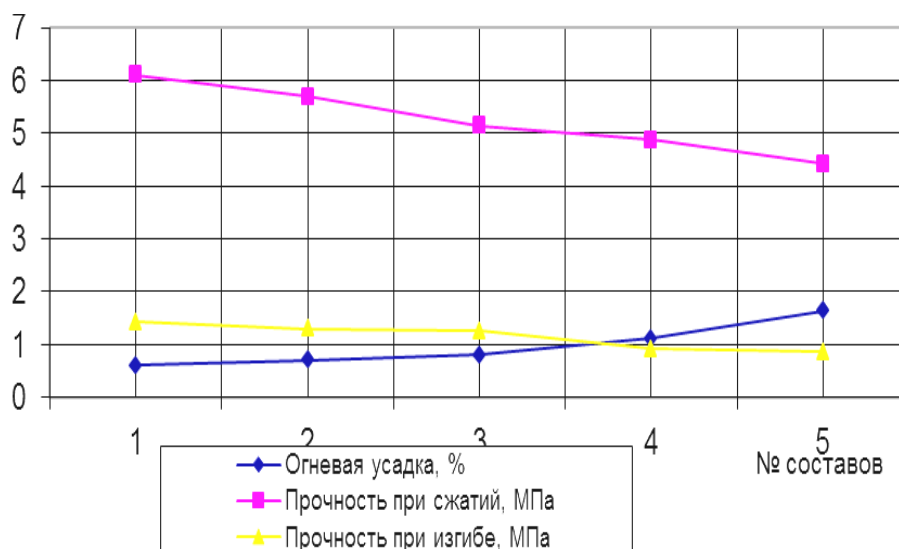


Рисунок 50 – Зависимости показателей по прочности при сжатии, при изгибе и огневой усадки от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}=800^{\circ}\text{C}$

Результаты анализа экспериментальных данных свидетельствуют о том, что по мере увеличения доли органоминеральной конгломератной добавки, содержащей нефтешлам, наблюдается тенденция к снижению прочностных характеристик образцов при сжатии и изгибе. Так, предел прочности при сжатии уменьшается с 6,1 до 4,42 МПа, а при изгибе – с 1,42 до 0,86 МПа.

Одновременно с этим зафиксировано увеличение величины огневой усадки, значения которой возрастают от 0,6 % до 1,64 %.

Следует подчеркнуть, что в исследуемом температурном диапазоне обжига зафиксированы сравнительно низкие значения прочности, что, по-видимому, обусловлено тем, что данный интервал температур соответствует начальному этапу процесса спекания керамической массы, когда ещё не сформирована плотная структура материала.

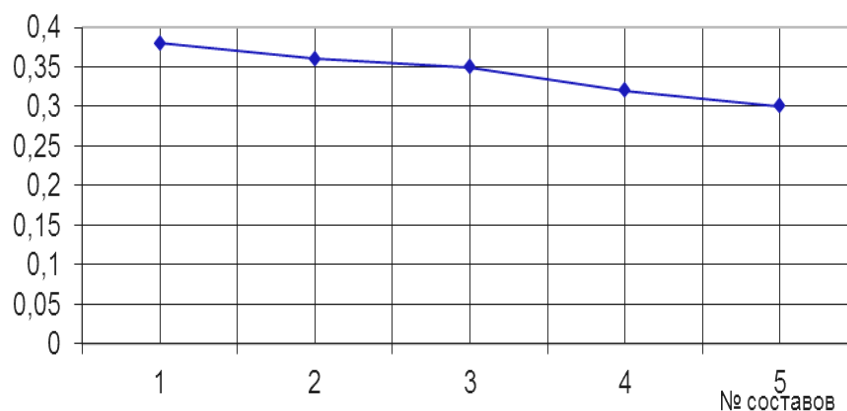


Рисунок 51 – Зависимость теплопроводности от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}=800^{\circ}\text{C}$

Анализ зависимости теплопроводности обожжённых образцов при температуре обжига 800 °С показал, что с увеличением содержания конгломератной смеси с нефтешламом наблюдается незначительное снижение коэффициента теплопроводности, который уменьшается с 0,38 до 0,3Вт/м*К.

Эта тенденция свидетельствует о перераспределении и изменении микроструктуры керамического материала, приводящем к увеличению пористости. Подтверждением данного вывода служат результаты исследования взаимосвязи между показателями средней плотности и водопоглощения, полученные для образцов, прошедших термообработку при 800°С (рисунки 52 и 53).

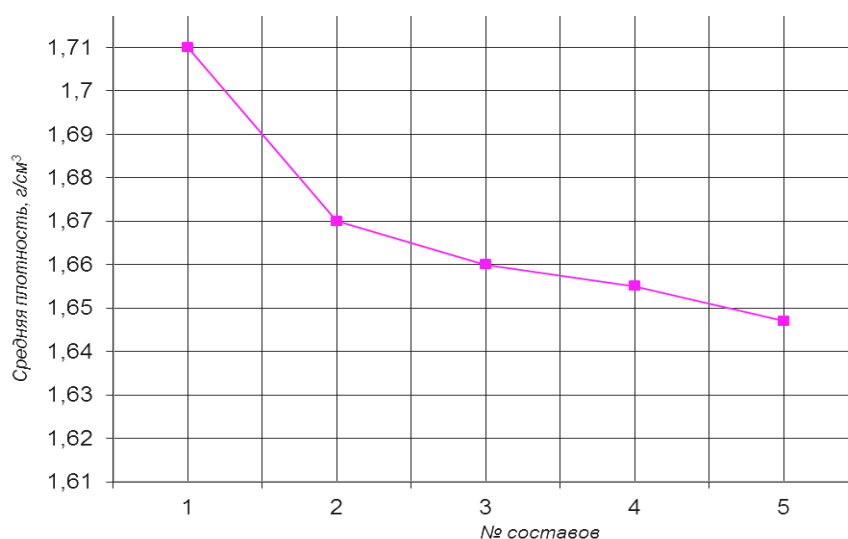


Рисунок 52 – Зависимость средней плотности от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}=800^{\circ}\text{C}$

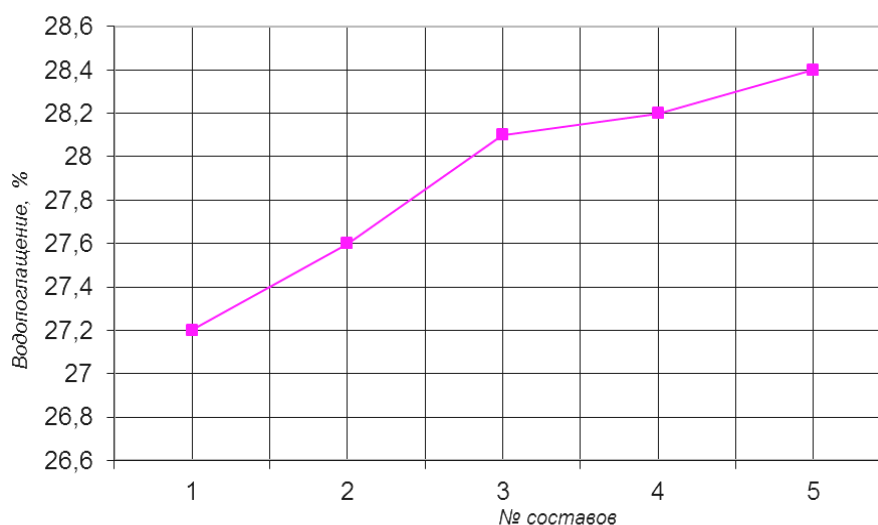


Рисунок 53 – Зависимость водопоглощения от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}=800^{\circ}\text{C}$

Анализ полученных данных показывает, что с увеличением доли конгломератной смеси с нефтешламом наблюдается стабильное снижение средней плотности образцов, которая изменяется с 1710 до 1647 кг/м³. В то же время, показатели водопоглощения увеличиваются с 27 до 28 %. Эта закономерность позволяет предположить, что в рассматриваемом температурном интервале одновременно происходят процессы начального спекания керамической композиции и горения органической составляющей нефтешлама. Образующиеся при сгорании нефтешлама микропоры в структуре керамического черепка ведут к снижению средней плотности, повышению водопоглощения и уменьшению коэффициента теплопроводности.

При повышении температуры обжига до 900–950°C (таблицы 19, 20, рисунки 54–61) наблюдается значительное улучшение прочностных характеристик при сжатии и изгибе, а также огневой усадки. В то же время показатели средней плотности, водопоглощения и теплопроводности демонстрируют тенденцию к снижению.

Так, в температурном интервале 900–950°C предел прочности при сжатии и изгибе варьируется в пределах 6,4–11,7МПа и 1,03–2,8МПа соответственно.

Таблица 19 – Физико–механические свойства исследуемых образцов при температуре 900°C

№составов	Температура обжига, °C	Средняя плотность кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Теплопроводность Вт/м.К	Водопоглощение, %	Огневая усадка, %
1	900	1650	7,7	1,54	0,39	22,8	1,5
2		1640	7,2	1,4	0,38	23,6	1,6
3		1620	7,1	1,3	0,37	25,1	1,8
4		1600	6,8	1,15	0,33	26,4	2,13
5		1570	6,4	1,03	0,29	28,2	2,3

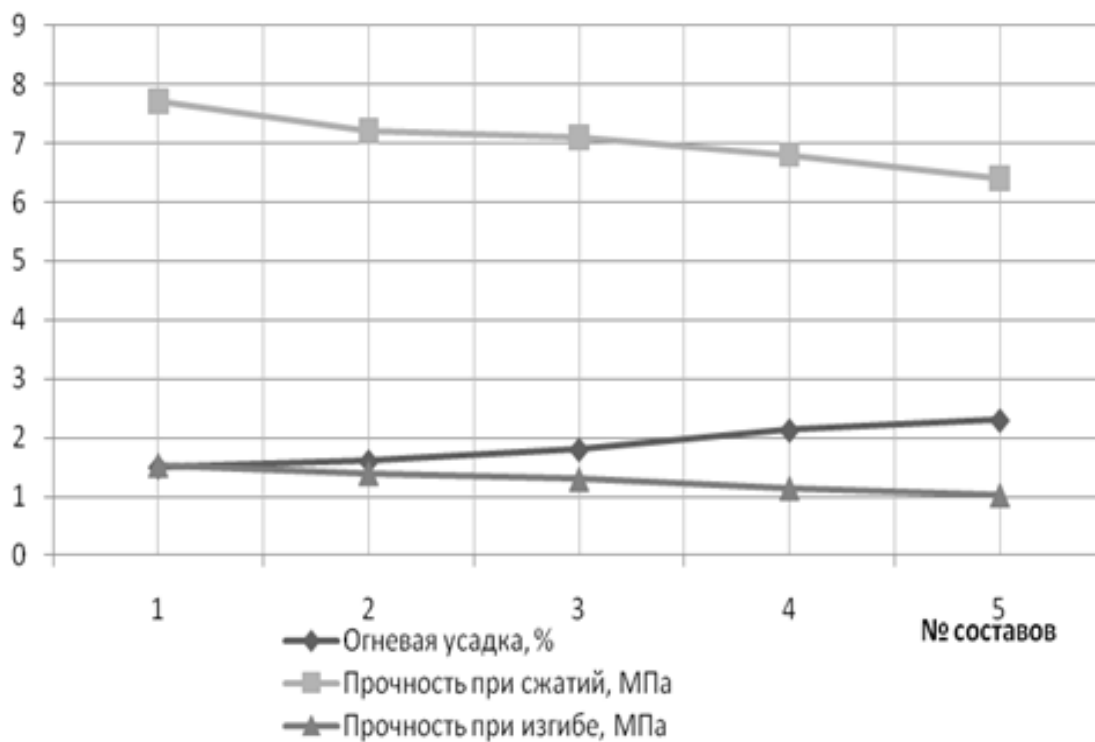


Рисунок 54 – Зависимости показателей по прочностям, при огневой усадке от состава керамических систем при $T_{\text{обж}}=900^{\circ}\text{C}$

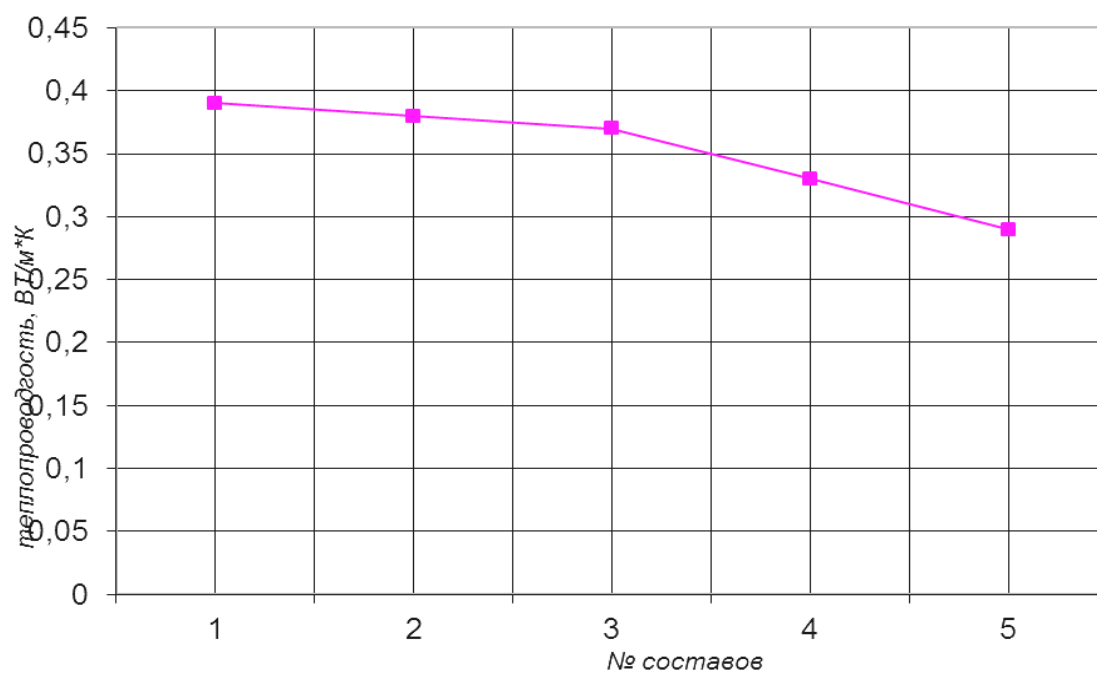


Рисунок 55 – Зависимость теплопроводности от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}= 900^{\circ}\text{C}$

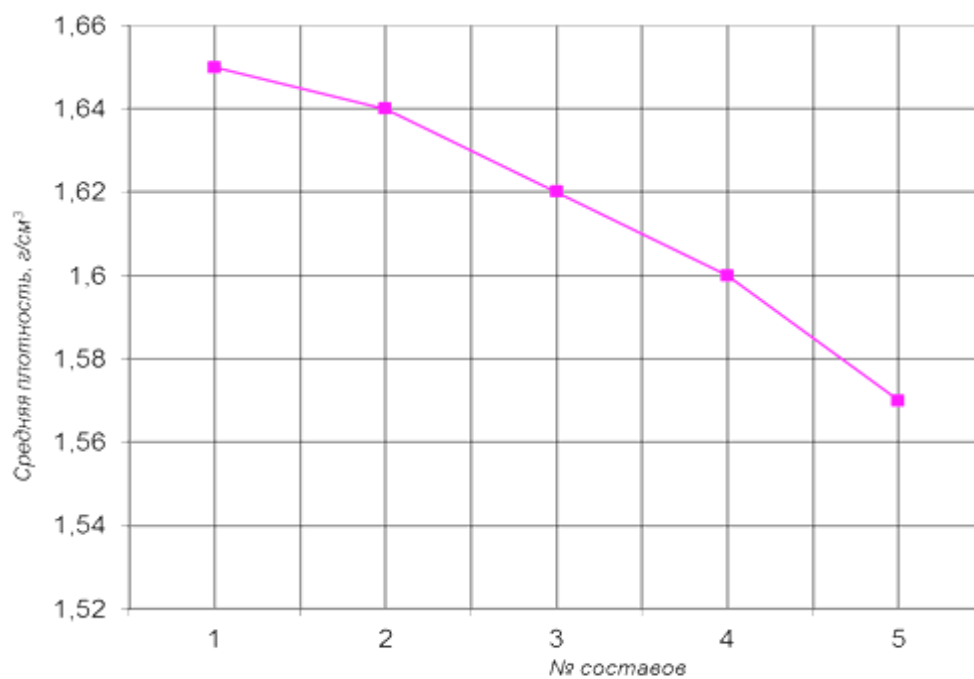


Рисунок 56 – Зависимость средней плотности от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}=900^{\circ}\text{C}$

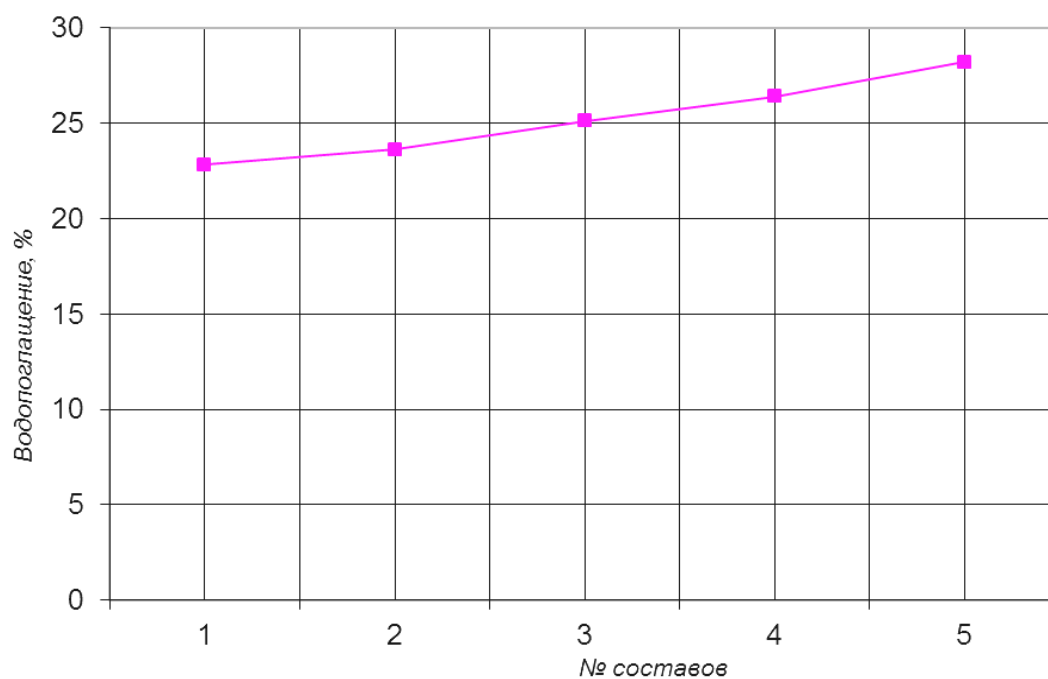


Рисунок 57 – Зависимость водопоглощения от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}=900^{\circ}\text{C}$

Таблица 20 – Физико–механические свойства исследуемых образцов при температуре 950°С

№ составов	Температура обжига, °С	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Теплопроводность Вт/м.К	Водопоглощение, %	Огневая усадка, %
1	950	1640	11,7	2,8	0,5	22,8	2,2
2		1635	11,2	2,6	0,43	23,6	2,4
3		1630	11,1	2,4	0,41	24,2	2,6
4		1610	10,8	2,3	0,37	26,4	2,9
5		1570	10,4	2,2	0,3	28,2	3,0

Зависимости показателей выше перечисленных свойств от состава керамических систем при температуре обжига 950°С показана на рисунке 57.

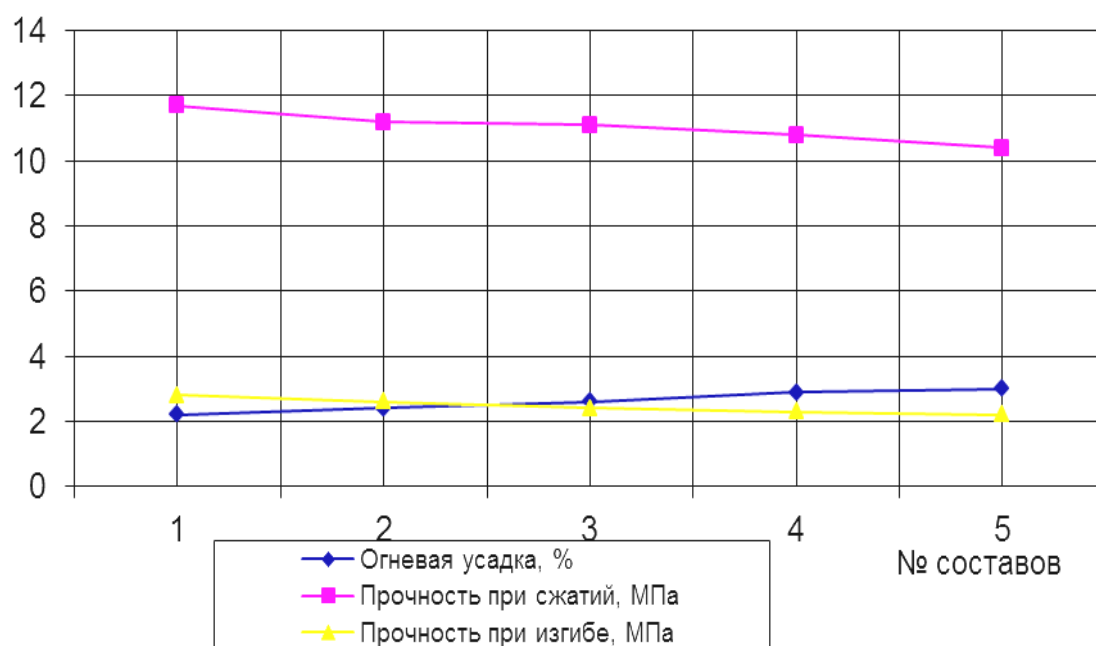


Рисунок 58 – Зависимости показателей по прочностям, огневой усадке от состава керамических систем при $T_{обж}=950^{\circ}\text{C}$

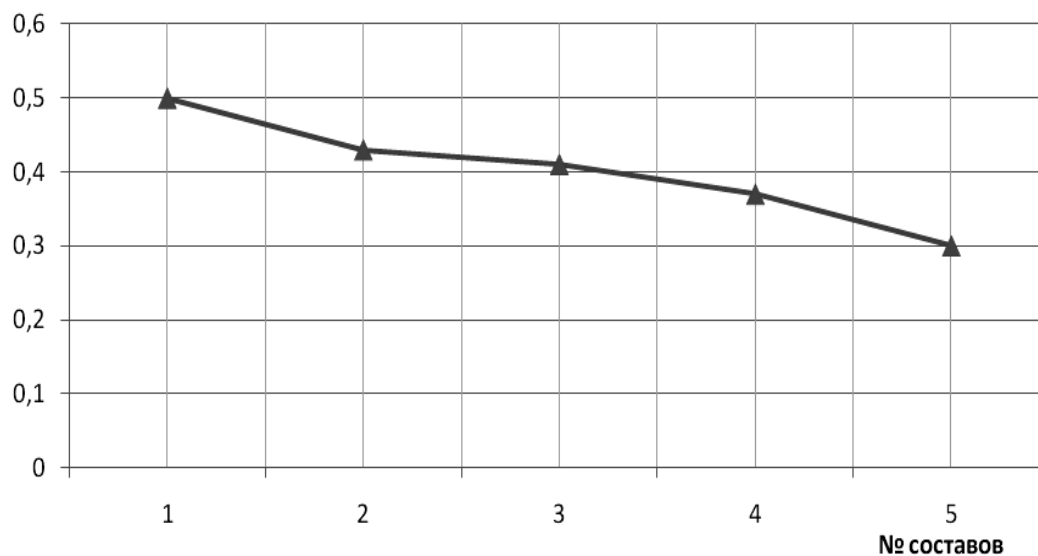


Рисунок 59 – Зависимость теплопроводности от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}} = 950^{\circ}\text{C}$

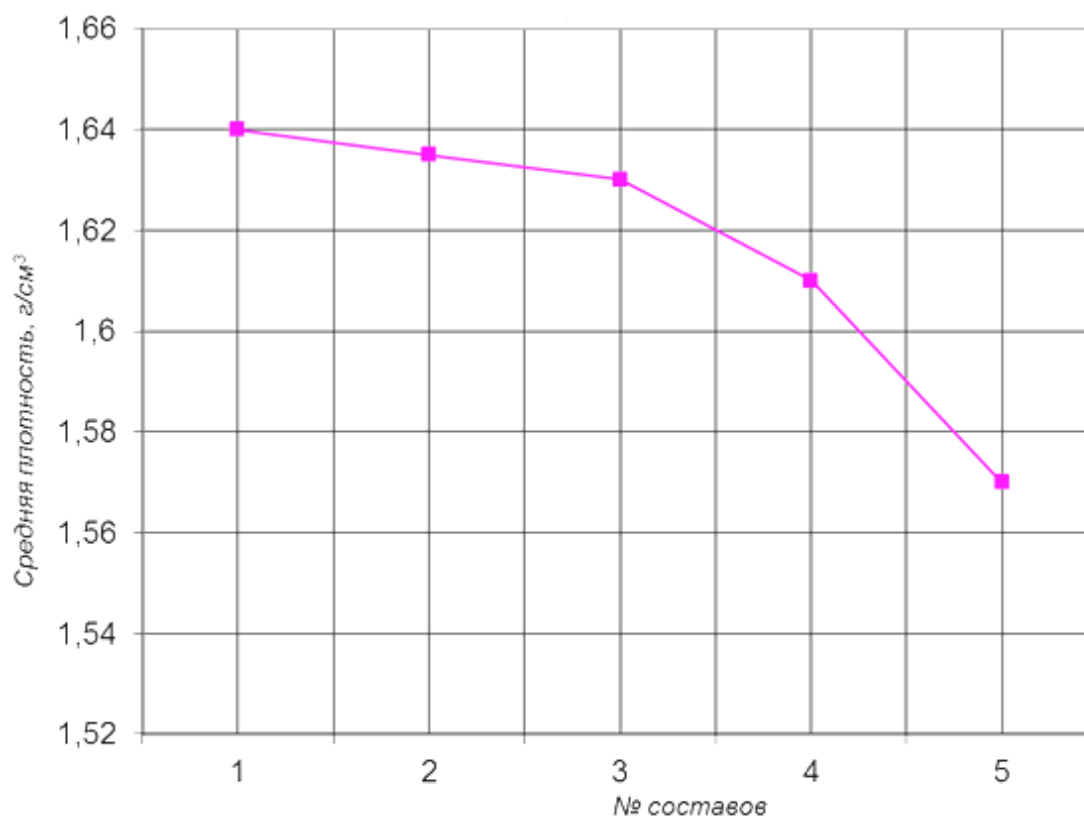


Рисунок 60 – Зависимость усредненной плотности от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}} = 950^{\circ}\text{C}$

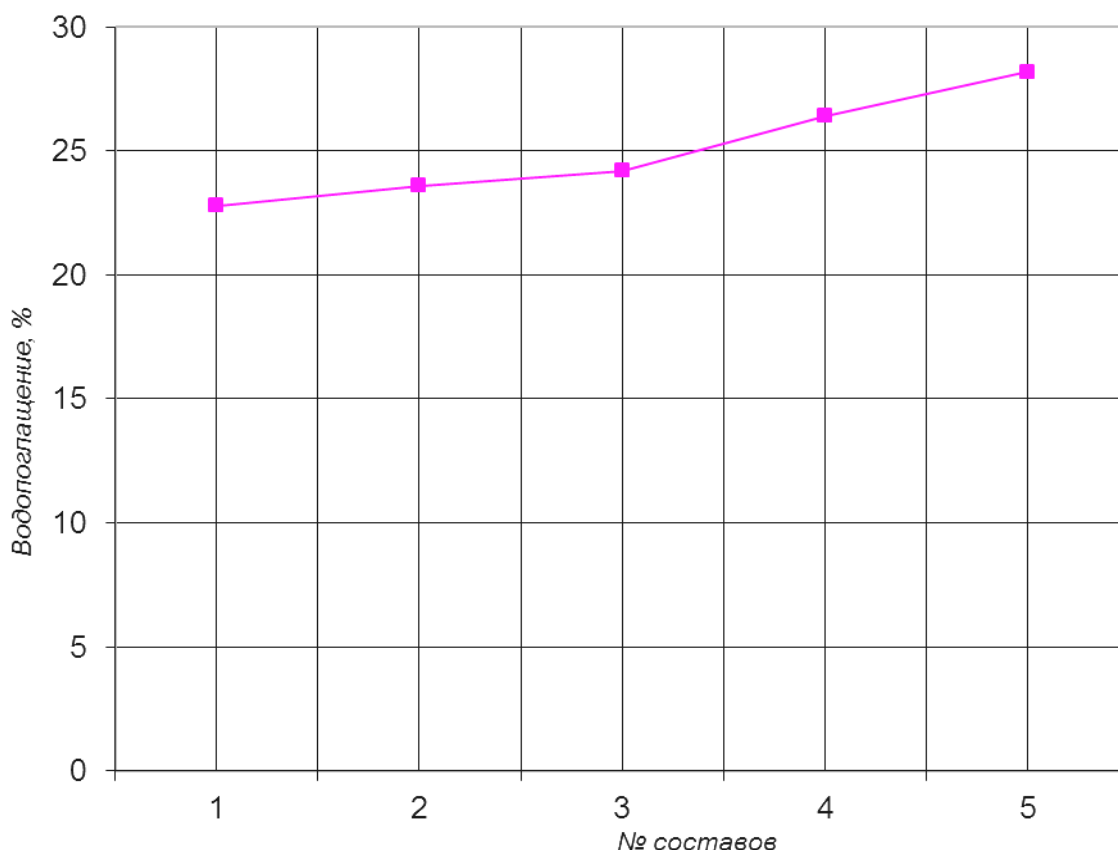


Рисунок 61 – Зависимость водопоглощения от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}} = 950^{\circ}\text{C}$

Величина огневой усадки при термообработке образцов в температурном диапазоне $900\text{--}950^{\circ}\text{C}$ возрастает и варьируется в пределах от 1,5 до 3,0 %. Показатели водопоглощения в этом же интервале составляют от 22,8 % до 28,2 %. При этом зафиксировано заметное снижение значений средней плотности и коэффициента теплопроводности обожжённых образцов.

Так, при температуре обжига 950°C средняя плотность варьируется в диапазоне $1570\text{--}1640\text{ кг/м}^3$, а коэффициент теплопроводности — от 0,3 до 0,5 Вт/м*К.

Проведённый анализ изменений физико–механических характеристик керамических образцов в диапазоне температур $900\text{--}950^{\circ}\text{C}$ в зависимости от содержания органоминеральной добавки с нефтешламом позволяет выделить следующие тенденции:

- увеличение содержания органоминеральной конгломератной смеси приводит к незначительному снижению прочности при сжатии и изгибе;
- с ростом доли добавки устойчиво снижаются показатели средней плотности и теплопроводности термообработанных образцов;
- параллельно наблюдается увеличение водопоглощения и огневой усадки, что указывает на развитие процессов порообразования и структурной перестройки керамической массы.

Анализ тенденций изменения физико–механических свойств керамических образцов в температурном диапазоне 900–950 °С позволяет сделать следующие выводы: в указанном интервале обжига интенсифицируются процессы спекания, сопровождающиеся формированием жидкой фазы, что подтверждается значительным ростом прочности при сжатии и изгибе; одновременно протекает процесс выгорания органической составляющей нефтешламовой добавки, что приводит к снижению средней плотности образцов; в результате термического разложения органических компонентов формируется пористая структура керамического черепка, способствующая уменьшению плотности и снижению коэффициента теплопроводности материала.

Аналогичные процессы наблюдаются при дальнейшем повышении температуры обжига до 1000–1100 °С (таблицы 21, 22; рисунки 62–69). В этом температурном диапазоне также зафиксирован рост прочностных характеристик при сжатии и изгибе, а также увеличение огневой усадки. Показатели средней плотности, водопоглощения и теплопроводности продолжают демонстрировать тенденцию к снижению. На данном этапе термообработки все изменения физических и механических свойств происходят на более высоком уровне по сравнению с предыдущими интервалами. Так, при температурах обжига 1000–1100 °С предел прочности при сжатии достигает 13,1–15,0 МПа, а при изгибе — 4,4–5,1 МПа.

Таблица 21 – Физико–механические свойства исследуемых образцов при температуре 1000 °С

№составов	Температура обжига, °С	Средняя плотность кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Теплопроводность Вт/м.К	Водопоглощения е, %	Огневая усадка, %
1	1000	1655	13,01	4,4	0,64	17,8	2,6
2		1650	12,7	3,8	0,56	19,6	3,0
3		1640	12,4	3,1	0,45	20,2	3,8
4		1625	11,8	2,5	0,35	21,4	3,9
5		1610	11,4	2,3	0,21	22,2	3,95

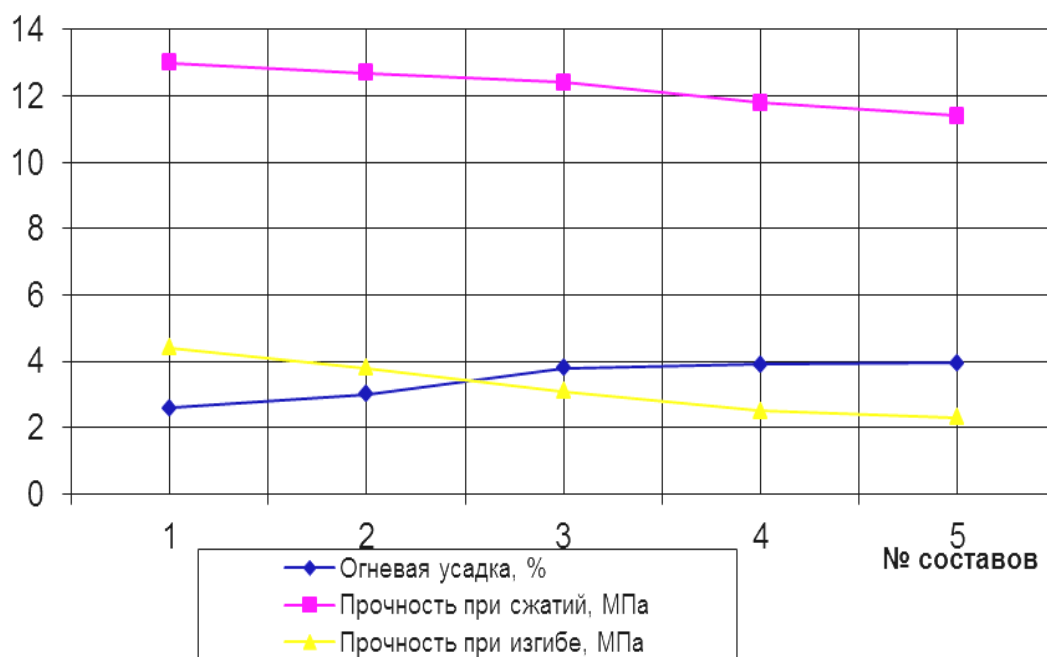


Рисунок 62 – Зависимости по прочности, огневой усадке от состава керамических систем при $T_{\text{обж}}=1000^{\circ}\text{C}$

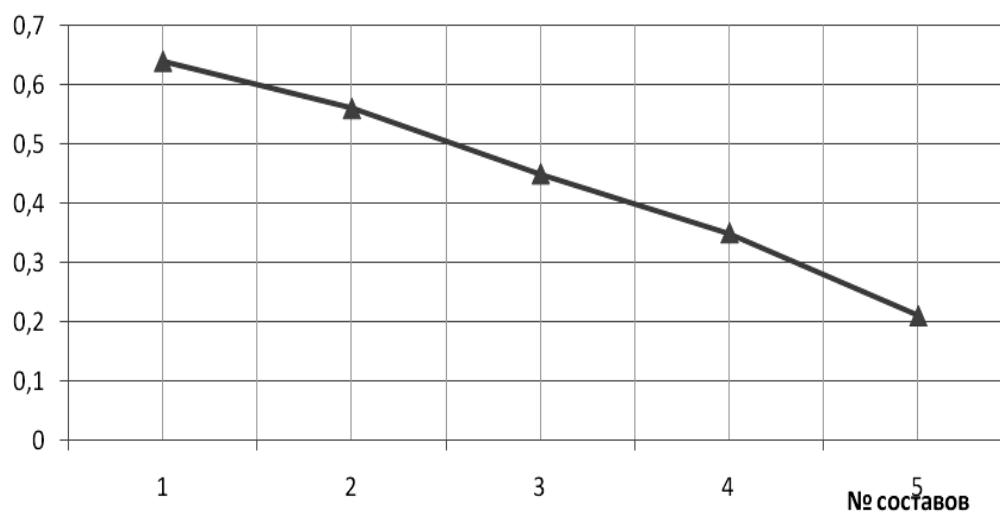


Рисунок 63 – Зависимость теплопроводности от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}=1000^{\circ}\text{C}$

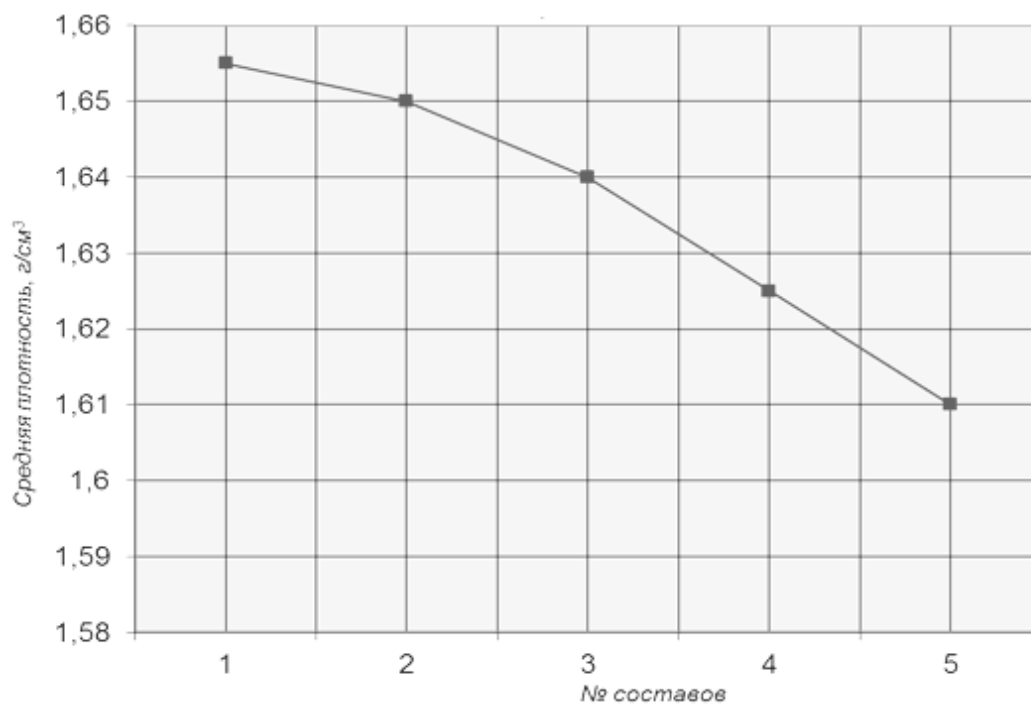


Рисунок 64 – Зависимость усредненной плотности от состава керамических систем при $T_{\text{обж}}=1000^{\circ}\text{C}$

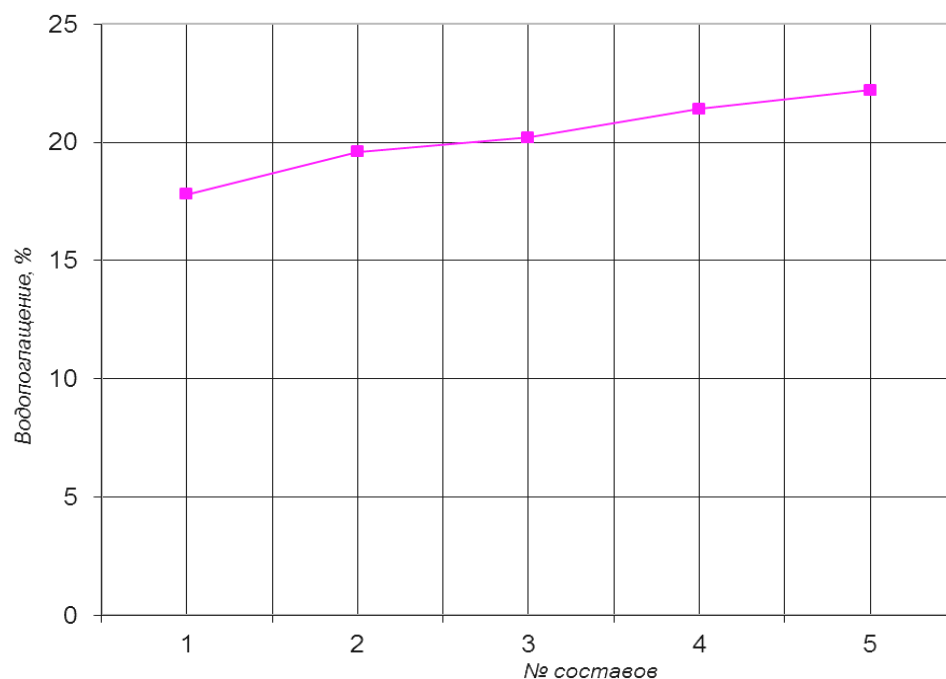


Рисунок 65 – Зависимость водопоглощения от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}=1000^{\circ}\text{C}$

Таблица 22 – Физико–механические свойства исследуемых образцов при $T_{\text{обж}} = 1100^{\circ}\text{C}$

№ составов	Температура обжига, $^{\circ}\text{C}$	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при изгибе, МПа	Теплопроводность, Вт/м.К	Водопоглощение, %	Огневая усадка, %
1	1100	1732	15	5,1	0,52	17,8	3.6
2		1725	14,7	4,2	0,50	18,4	3.8
3		1710	14,2	3,6	0,48	18,7	4.0
4		1680	13,8	3,1	0,46	20,4	4.1
5		1627	12,4	2,9	0,45	24,2	4.6

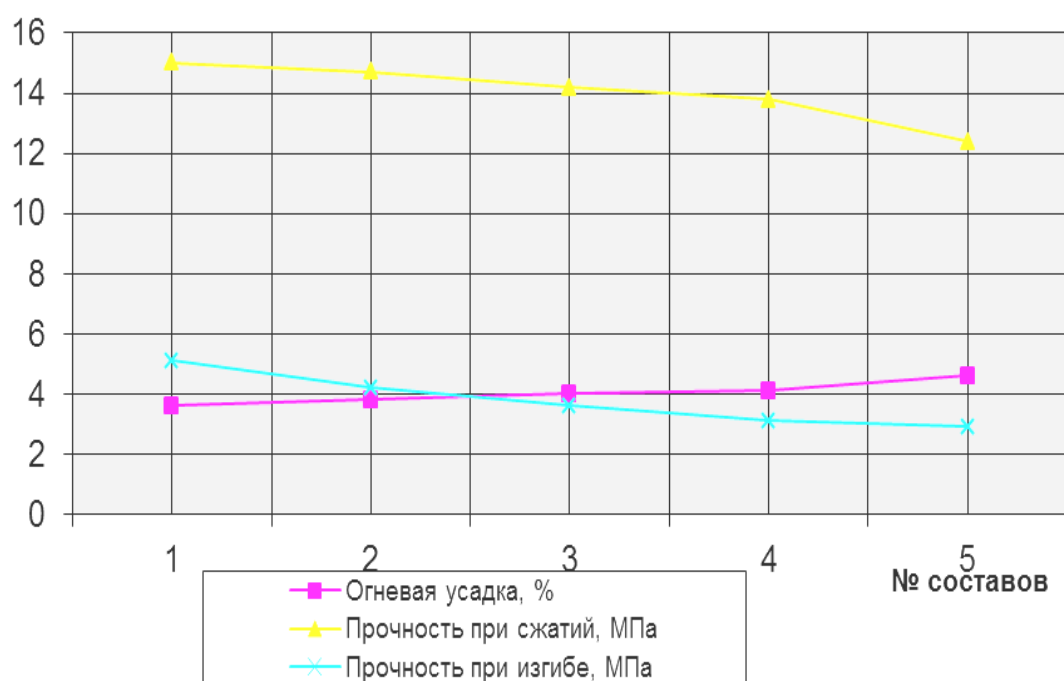


Рисунок 66 – Зависимости по прочностям, огневой усадке от состава керамических систем при $T_{\text{обж}} = 1100^{\circ}\text{C}$

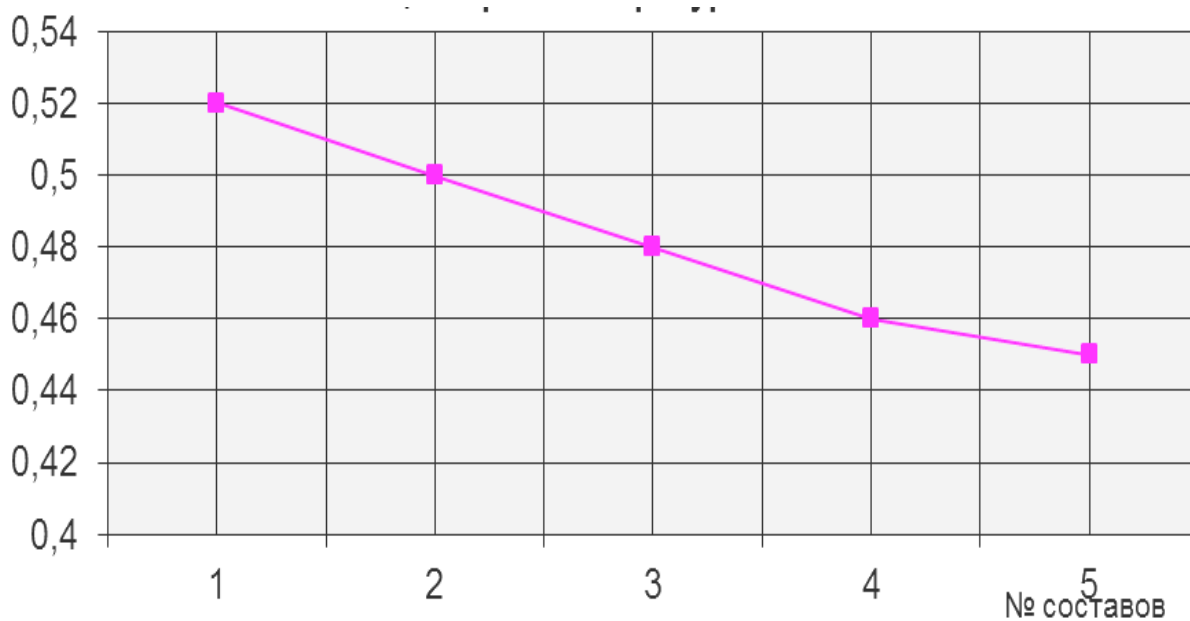


Рисунок 67 – Зависимость теплопроводности от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}=1100^{\circ}\text{C}$

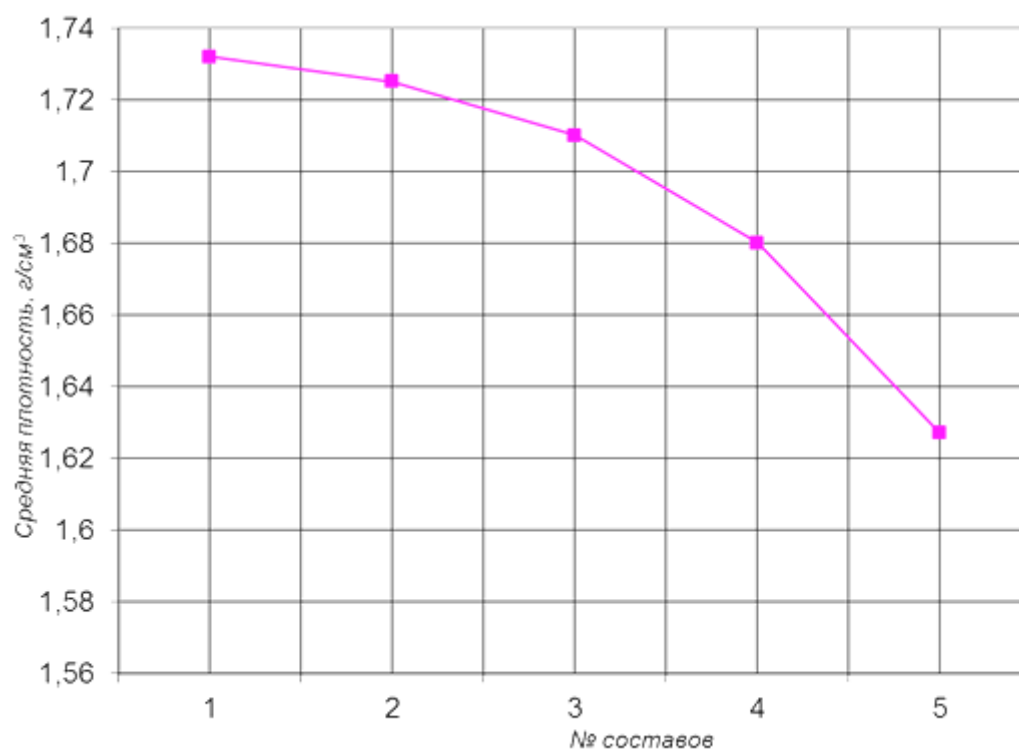


Рисунок 68 – Зависимость усредненной плотности от состава керамических систем при $T_{\text{обж}}=1100^{\circ}\text{C}$

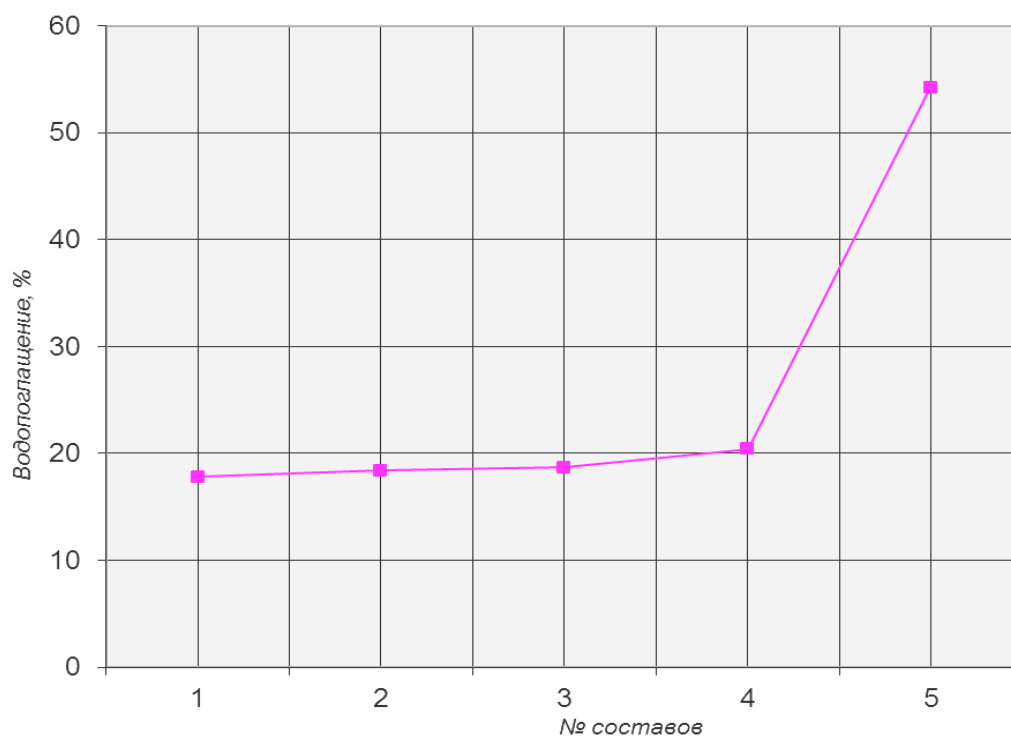


Рисунок 69 – Зависимость водопоглощения от состава керамических композиций при $T_{\text{обж}}=1100^{\circ}\text{C}$

Величина огневой усадки также демонстрирует тенденцию к увеличению и варьируется в диапазоне 3,9–4,6%. В интервале температур обжига, рассматриваемом в настоящем исследовании, водопоглощение составляет от 22,2 до 24,2%. При этом наблюдается заметное снижение значений средней плотности и коэффициента теплопроводности образцов после термообработки. Так, при температуре обжига 1100°C средняя плотность находится в пределах 1655–1732 кг/м³, а коэффициент теплопроводности уменьшается до значений в интервале 0,52–0,64 Вт/(м*К).

4.4 Применение методов математического планирования при оптимизации составов органоминеральных смесей с нефтешламом

Целенаправленное управление процессами формирования структуры и улучшения физико–химических свойств строительной керамики требует возможности прогнозирования свойств готовых изделий, что и лежит в основе разработки композиционных керамических масс. Современные исследования [78, 79] подтверждают актуальность предварительного усреднения глинистого сырья по химико–минералогическому составу.

Для разработки керамической композиции на основе системы «ЛС–КС–Н» глинистое сырьё предварительно сушили при температуре 90–100 $^{\circ}\text{C}$ до достижения постоянной массы. После сушки глину измельчали в

лабораторной шаровой мельнице до достижения поверхности материала 1000–1200см²/г.

Формование образцов осуществлялось пластическим методом из подготовленных сырьевых смесей. Образцы изготавливались в виде кубов с длиной ребра 5×5×5см. Влажность масс составляла 18% от массы сухих компонентов, а давление прессования – в пределах 15–20МПа.

Процесс термообработки включал обжиг при максимальной температуре 1000°С с равномерным подъёмом температуры со скоростью 2,5 °С в минуту.

В качестве варьируемых факторов были выбраны следующие пределы содержания компонентов (в мас. %):

Лессовидный суглинок – 80–95%;

Смесь с нефтешламом – 5–20%.

Для определения оптимальных составов в исследуемой системе применялся метод математического планирования эксперимента.

Основные варьируемые параметры в составе исследуемой керамической композиции «ЛС–КС–Н» представлены в таблице 23.

Таблица 23– Основные варьируемые параметры в составе исследуемой керамической композиции «ЛС–КСН»

Факторы	Код–ка	Уровень варьирования				
		–1,41	–1	0	+1	+1,41
Массовое содержание суглинка, %	X ₁	95,00	93,00	90,00	85,00	80,00
Массовое содержание КСН, %	X ₂	5,00	7,00	10,00	15,00	20,00

План и результаты проведения эксперимента композиции «ЛС–КСН» показан в таблице 24.

Таблица 24 – План и результаты проведения эксперимента композиции «ЛС–КСН»

№ п/п	Уровни варьирования				Сырц. прочность, МПа	Проч–ность при сжатии, Мпа	Сред. плотность, г/см ³	Водопогло-
	в кодир. перемен.		в натур. перемен.					щение %
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂				
1	1	1	90	10	2,8	9,62	1,64	20,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	−1	1	80	20	2,7	10,26	1,635	19,6
3	1	−1	93	7	2,4	9,2	1,69	21,7
4	−1	−1	87	13	2,86	9,91	1,74	20,1
5	1,41	0	97	3	1,8	8,41	1,67	24
6	−1,41	0	75	25	2,5	13,45	1,833	19,4
7	0	1,41	85	15	2,86	10,1	1,76	19,8
8	0	−1,41	95	5	2,25	8,87	1,653	23,2
9	0	0	85	15	2,86	10,1	1,76	19,8
10	0	0	85	15	2,86	10,1	1,76	19,8
11	0	0	85	15	2,86	10,1	1,76	19,8
12	0	0	85	15	2,86	10,1	1,76	19,8

Примечание: значения натуральных переменных корректировались до достижения суммы компонентов к 100%

В качестве параметров оптимизации керамических масс были выбраны следующие характеристики: сырцовая прочность, отражающая формовочные свойства смеси; средняя плотность и водопоглощение, выступающие в роли показателей физико–технических свойств; а также прочность при сжатии обожжённых образцов, рассматриваемая как основной критерий качества готовых изделий. Применение рототабельного плана 2–го порядка с варьированием двух и 3–х факторов позволило построить математическую модель, описывающую зависимость свойств керамического материала от его состава. Для системы «суглинок–конгломератная смесь с нефтешламом» эта зависимость выражается в виде квадратного уравнения.

1. Сырцовая прочность

$$R_{\text{сырц.}} = 0,063 + 0,21x_1 - 1,264x_2 - 0,002x_1x_2 + 0,013x_1x_2 + 0,009x_2x_2;$$

2. Прочность при сжатии

$$R_{\text{сж}} = 23,833 - 1,431x_1 + 7,366x_2 + 0,013x_1 \cdot x_1 - 0,063x_1x_2 - 0,068x_2x_2;$$

3. Средняя плотность

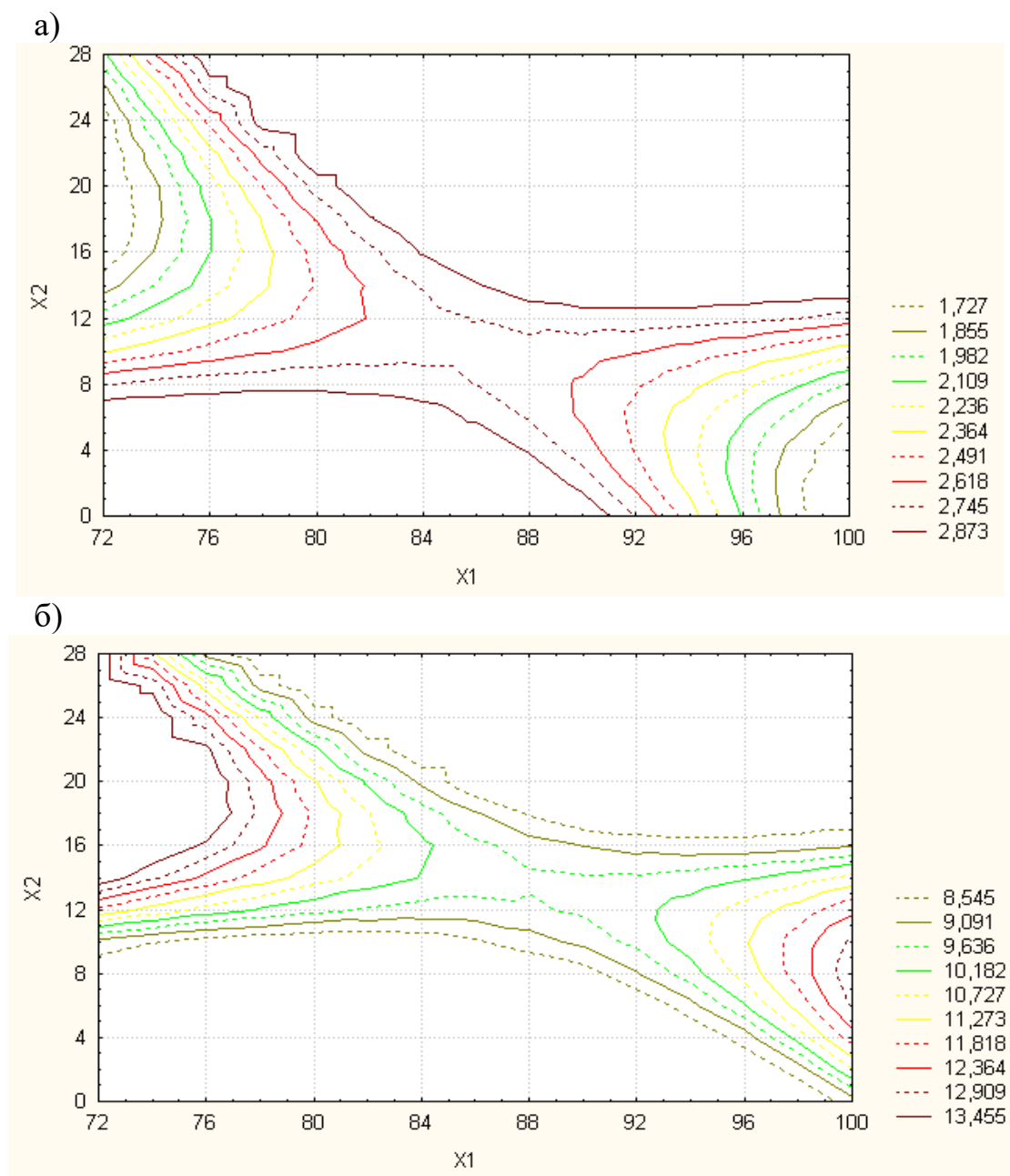
$$\rho = 2,337 - 0,067x_1 + 0,329x_2 + 6,012e - 4x_1x_2 - 0,003x_1x_2 - 0,003x_2x_2;$$

4. Водопоглощение

$$W = 35,637 - 1,451x_1 + 7,701x_2 + 0,014x_1x_1 - 0,071x_1x_2 - 0,069x_2x_2;$$

Среднеквадратичная ошибка S_6 определялась обычным образом.

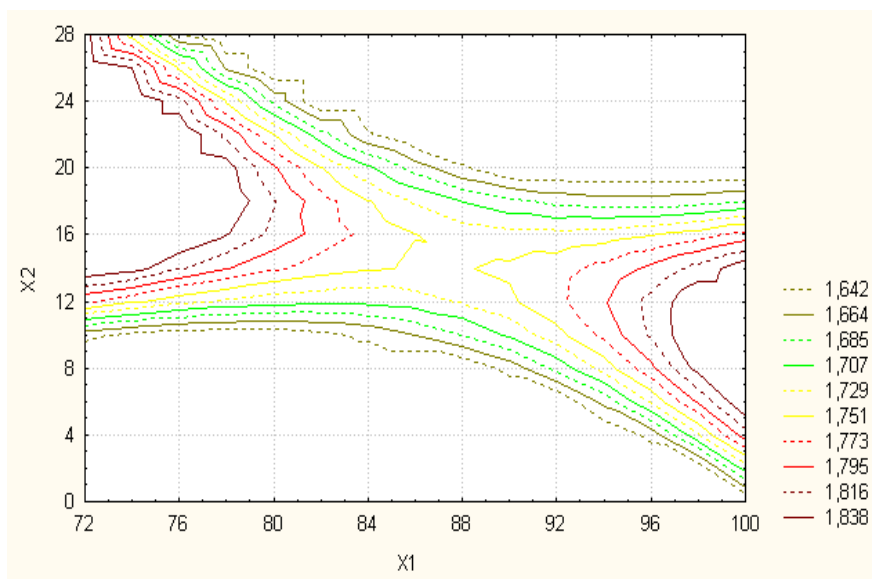
Графическое представление зависимостей различных свойств сырьевых масс от вариации составов шихт представлено на рисунках 70 и 71.



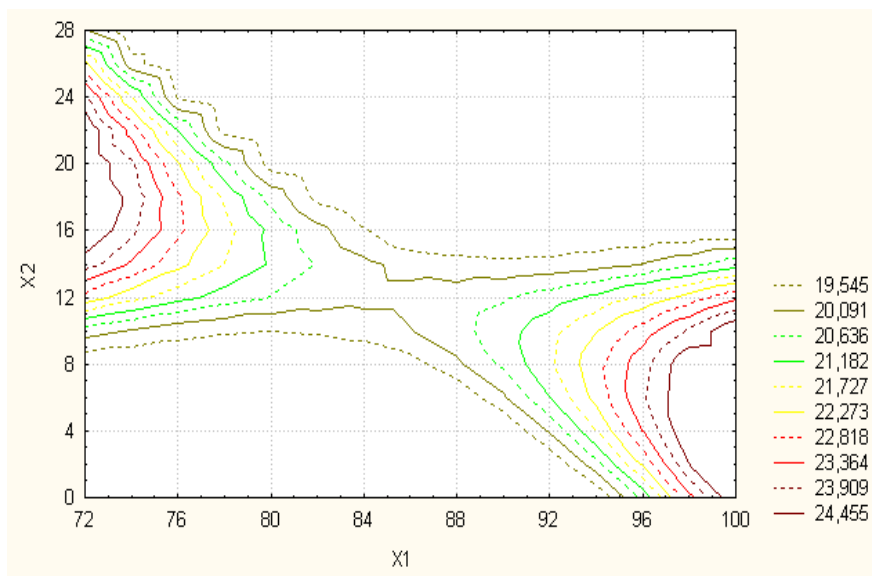
Ось абсцисс – суглинок, %; ось ординат – конгломератная смесь с нефтешламом, %

Рисунок 70 – Зависимость свойств образцов от содержания суглинка и конгломератная смесь с нефтешламом
а) сырьевая прочность; б) прочность на сжатие.

а)



б)



Ось абсцисс – суглинок, %; ось ординат – КСН, %
а) средняя плотность; б) водопоглощение

Рисунок 71– Зависимость свойств образцов от содержания суглинка и КСН

Анализ диаграмм, отражающих взаимосвязь между шихтовым составом и основными физико–механическими свойствами керамических масс, позволяет установить, что при увеличении содержания органоминеральной конгломератной смеси с нефтешламом с 5 до 10% (в пересчёте на порошкообразную форму) и соответствующем снижении доли лессовидного суглинка наблюдается положительная динамика в изменении прочностных характеристик. В частности, сырцовая прочность

возрастает с 1,72 до 2,87 МПа, а прочность при сжатии после обжига увеличивается с 8,54 до 13,45 МПа.

Что касается физико–технических характеристик, таких как средняя плотность и водопоглощение, то во всех исследуемых керамических композициях фиксируется тенденция к увеличению плотности изделий и снижению способности к водопоглощению. Особенно выражено снижение водопоглощения в системе «ЛС–КСН», где данный показатель уменьшается с 24 % до 19,4%. Это свидетельствует о формировании более плотной и менее пористой структуры материала.

На микроструктурном уровне наблюдаемые изменения можно объяснить характером химических процессов, протекающих на поверхности слоистых силикатов в условиях термической обработки. Помимо кислотно–основных взаимодействий, на границах фаз инициируются реакции с участием ион–радикалов, возникающих в результате окисления органических компонентов нефтешлама. При термообработке происходят процессы дегидратации и дегидроксилирования, сопровождающиеся потерей гидроксильных групп октаэдрически координированными ионами $Al(3+)$. Это приводит к снижению их координационного числа и, вероятно, способствует активации миграционных процессов с последующим формированием структур, в которых ионы алюминия замещают кремний в тетраэдрических позициях.

Хотя ион $Al(3+)$, находящийся в тетраэдрической координации, представляет собой типичную кислоту Льюиса и не проявляет окислительных свойств, формирование окислительного центра возможно за счёт переноса электрона от адсорбированной молекулы на катионы меньшей валентности, локализованные в кристаллической решётке монтмориллонита. Этот процесс, вероятно, играет ключевую роль в активации химического взаимодействия компонентов, способствуя повышению прочностных и эксплуатационных характеристик керамического материала.

В процессе гидратации слоистых силикатов молекулы воды способны проникать в межслоевые пространства кристаллической решётки, вызывая значительное расширение расстояний между элементарными слоями. Это приводит к многократному увеличению объёма материала — вплоть до 16 раз. Указанные минералы характеризуются высокой ионообменной способностью, заключающейся в замещении катионов, находящихся как на поверхности, так и внутри кристаллической структуры, на ионы, поступающие из внешнего раствора.

На основании проведённого комплекса исследований установлены существенные отличия в изменении физико–химических и механических характеристик керамических композиций, сформированных на основе лессовидных суглинков, модифицированных органоминеральной

конгломератной смесью с нефтешламом. В ходе экспериментальных работ были разработаны и оптимизированы составы керамических масс в системе «суглинок – органоминеральная смесь с нефтешламом», предназначенные для производства стеновых керамических изделий методом пластического формования.

Результаты анализа закономерностей изменения физико–механических свойств в зависимости от компонентного состава и температуры термообработки (в пределах 1000–1100°С) позволяют выделить следующие основные тенденции:

1. На характер изменения физико–механических параметров обожжённых образцов наибольшее влияние оказывает массовая доля органоминеральной смеси с нефтешламом в общем составе керамической массы.

2. При увеличении содержания органоминеральной добавки с нефтешламом за счёт уменьшения доли лессовидного суглинка наблюдается умеренное снижение прочности при сжатии и изгибе. При этом установлено, что степень снижения прочностных характеристик не превышает 10–15%, что сохраняет изделия в пределах допустимых параметров эксплуатации.

3. Увеличение доли органоминеральной смеси стабильно сопровождается снижением средней плотности и коэффициента теплопроводности получаемых образцов. При этом данные изменения не оказывают негативного воздействия на прочность термообработанных изделий, что указывает на возможность направленного регулирования теплофизических свойств без ущерба для прочности.

4. Повышение содержания органоминерального компонента в составе шихты способствует увеличению показателей водопоглощения и огневой усадки. Однако установлено, что данные показатели остаются в пределах, соответствующих требованиям, предъявляемым по качеству стеновой керамике, и могут быть использованы для формирования необходимой пористости и структуры материала.

Анализ поведения исследуемых керамических композиций в интервале температур обжига 1000–1100°С позволяет сделать следующие обобщённые выводы:

1. В указанных температурных пределах активизируются процессы как твёрдофазного, так и жидкофазного спекания, что подтверждается значительным увеличением прочности при сжатии и изгибе.

2. Одновременно завершается стадия термического разложения и полного выгорания органических составляющих нефтешлама, что сопровождается стабилизацией значений средней плотности и формированием более однородной структуры.

3. В результате термообработки образуется благоприятная микропористая структура керамического черепка с частичной

кристаллизацией. Такая структура обеспечивает улучшенные физико–механические характеристики готовых изделий. Установлено, что обожжённые образцы характеризуется однородной, хорошо спечённой, мелкопористой текстурой, формирование которой обусловлено положительным влиянием органоминеральной конгломератной добавки на структурно–фазовое состояние системы на основе лессовидных суглинков.

4.5 Исследование структуры керамической композиции «лессовидный суглинок–конгломератная смесь с нефтешламом»

С целью выявления закономерностей процессов структурообразования в керамической композиции на основе лессовидных суглинков с введением органоминеральной конгломератной добавки, содержащей нефтешлам, был проведён комплекс микроструктурных исследований с использованием электронной микроскопии.

Для получения объективных данных и проведения сопоставительного анализа, исследования осуществлялись на двух типах керамических масс: первый – образцы, изготовленные исключительно на основе лессовидного суглинка без каких–либо добавок, второй – композиции с включением органоминеральной конгломератной смеси, содержащей нефтешлам. Такой подход позволил определить влияние органоминеральной добавки на процессы формирования структуры и фазовых преобразований при термообработке.

Анализу подвергались преимущественно те составы, которые в ходе предварительных этапов эксперимента были идентифицированы как оптимальные с точки зрения совокупности эксплуатационных показателей. При этом учитывались как механические и физико–химические характеристики, так и параметры, связанные с ресурсо– и энергосбережением, что особенно актуально в контексте разработки энергоэффективных строительных материалов.

Результаты микроскопического анализа позволили получить визуальное и количественное представление о морфологических различиях между чистыми глинистыми системами и композициями, модифицированными органоминеральной добавкой. Установлено, что наличие в системе нефтешлама оказывает существенное влияние на формирование пористой структуры, плотность упаковки частиц, а также на степень спекания и равномерность распределения фаз.

Обобщённые результаты микроструктурных исследований для чистого лессовидного суглинка и композиций, содержащих органоминеральную конгломератную добавку с нефтешламом, представлены на рисунке 72 и в таблице 25.

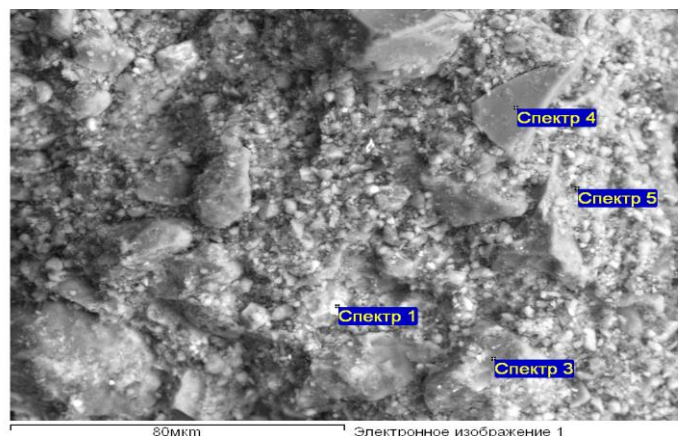
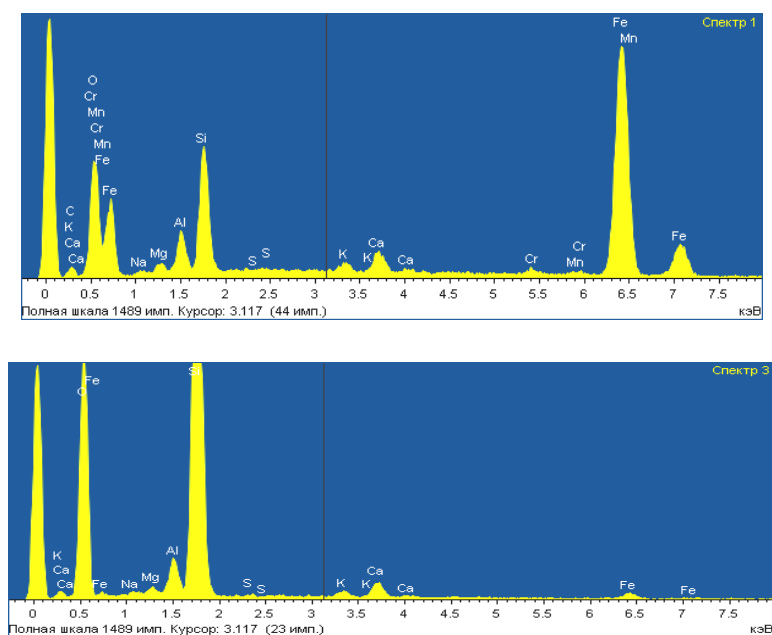


Рисунок 72 – Микроструктура суглинков, указанных в точечных местах анализа химического состава.

Таблица 25 – Результаты по исследованию составов фаз сунлинка

№	Код ссылки	Наименование материала	Химические формулы	%
1	01–085–0450	Диоксид кремния	SiO_2	68
2	00–041–1480	Албит, кальцит,	$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_8$	14
3	01–070–6980	Оксид магния и алюминия	$(\text{Mg}_{0.63}\text{Al}_{0.34})(\text{Al}_{1.70}\text{Mg}_{0.30})\text{O}_4$	8
4	01–074–1780	Каолинит–1А	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	3
5	01–082–1570	Диоксид кремния	Si O_2	7

Рентгенограмма суглинка Чаганского месторождения показана на рисунке 73.



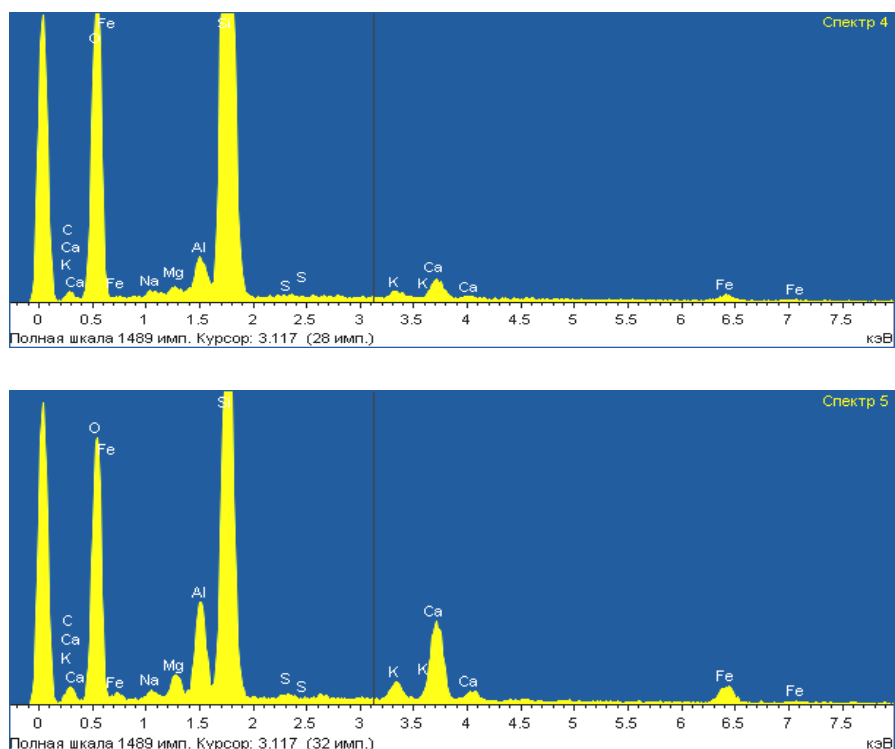


Рисунок 73 – Рентгенограмма суглинка Чаганского месторождения

Анализ результатов проведённых исследований показал, что суглинок Чаганского месторождения, преимущественно состоит из кварцевых минералов. В его минеральном составе присутствуют такие компоненты, как каолинит, альбит и кальцит. Также зафиксировано наличие смешаннослойных минералов, содержащих оксиды алюминия и магний.

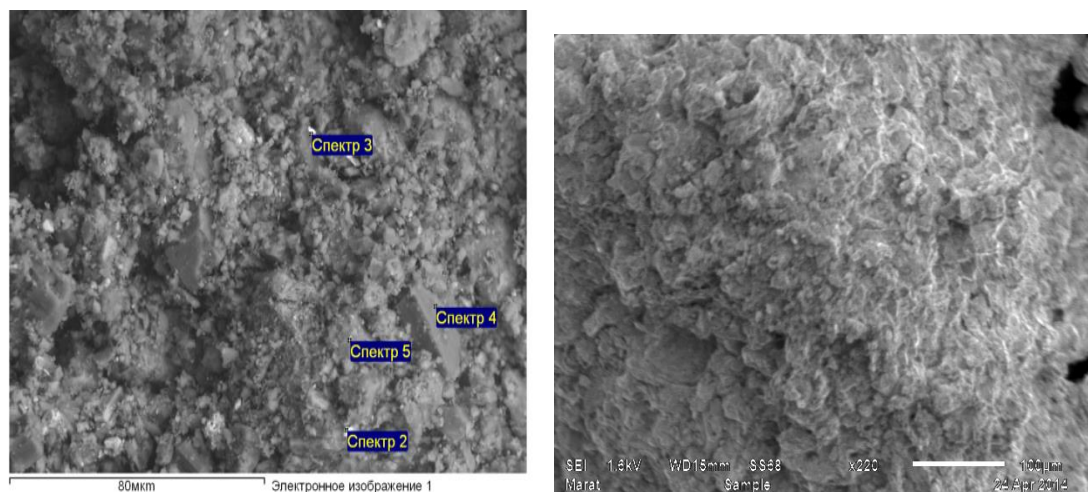


Рисунок 74 – Микроструктура обожженных керамических образцов без добавки, $T_{\text{обж}} = 950 - 1000^{\circ}\text{C}$ (увеличение 200)

Микроструктура обожженных керамических образцов без добавки показана на рисунке 74, а с добавлением КСН при температуре 950 – 1000°С – рисунке 75.

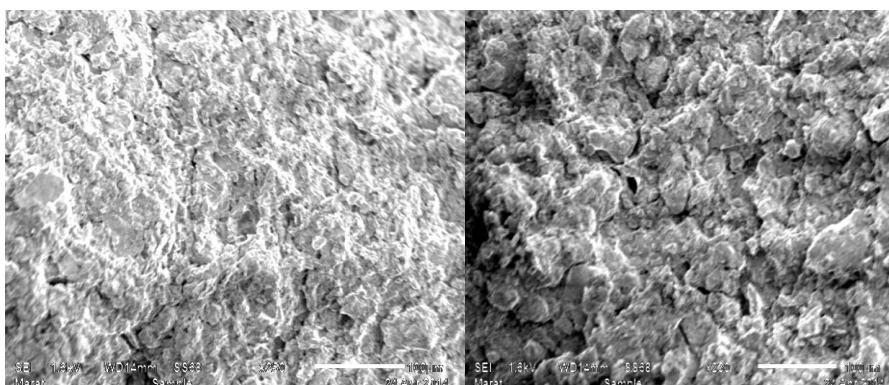


Рисунок 75 – Микроструктура обожжённых образцов на основе конгломератной смеси с нефтешламом при температуре 950 – 1000°С. (увеличение 200)

Спектральные характеристики керамических образцов, подвергнутых термической обработке в диапазоне температур от 950 до 1000 °С и модифицированных добавлением органоминеральной конгломератной смеси, включающей нефтешлам, были детально исследованы в рамках настоящего исследования (таблица 26).

Полученные спектры отражают изменения, происходящие в структуре и фазовом составе керамического материала под воздействием термической нагрузки, а также позволяют выявить влияние органоминеральной добавки на процессы минералообразования, дегидратации и кристаллизации при обжиге. Результаты спектроскопического анализа дают возможность проследить формирование новых фаз, изменение химических связей и наличие остаточных органических включений, что важно для понимания механизмов структурных преобразований в композициях на основе лессовидного суглинка.

Таблица 26 – Спектры термообработанных керамических образцов при температуре 950–1000°С с добавлением конгломератной смеси с нефтешламом

Спектр	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Ba	W
2	42.86	0.65	0.9	3.2	8.85	7.4	0.6	2.6	2.7	27.8	2.1
3	49.56	2.13	1.1	5.8	17.6	2.8	1.6	3.9	3.4	10.9	1.0
4	61.99	0.59	2.8	2.8	26.4	0.2	0.6	2.5	2.0		
5	51.01	1.32	1.1	8.4	24.2	0.2	5.3	5.0	3.4		
Макс.	61.99	2.13	2.7	8.3	26.4	7.4	5.2	5.0	3.4	27.8	2.1
Мин.	42.85	0.59	0.9	2.8	8.84	0.1	0.6	2.5	2.0	10.9	1.0

Рентгенограмматермообработанных керамических образцов при температуре 950–1000°С с добавкой «КС–Н» представлена на рисунке 76.

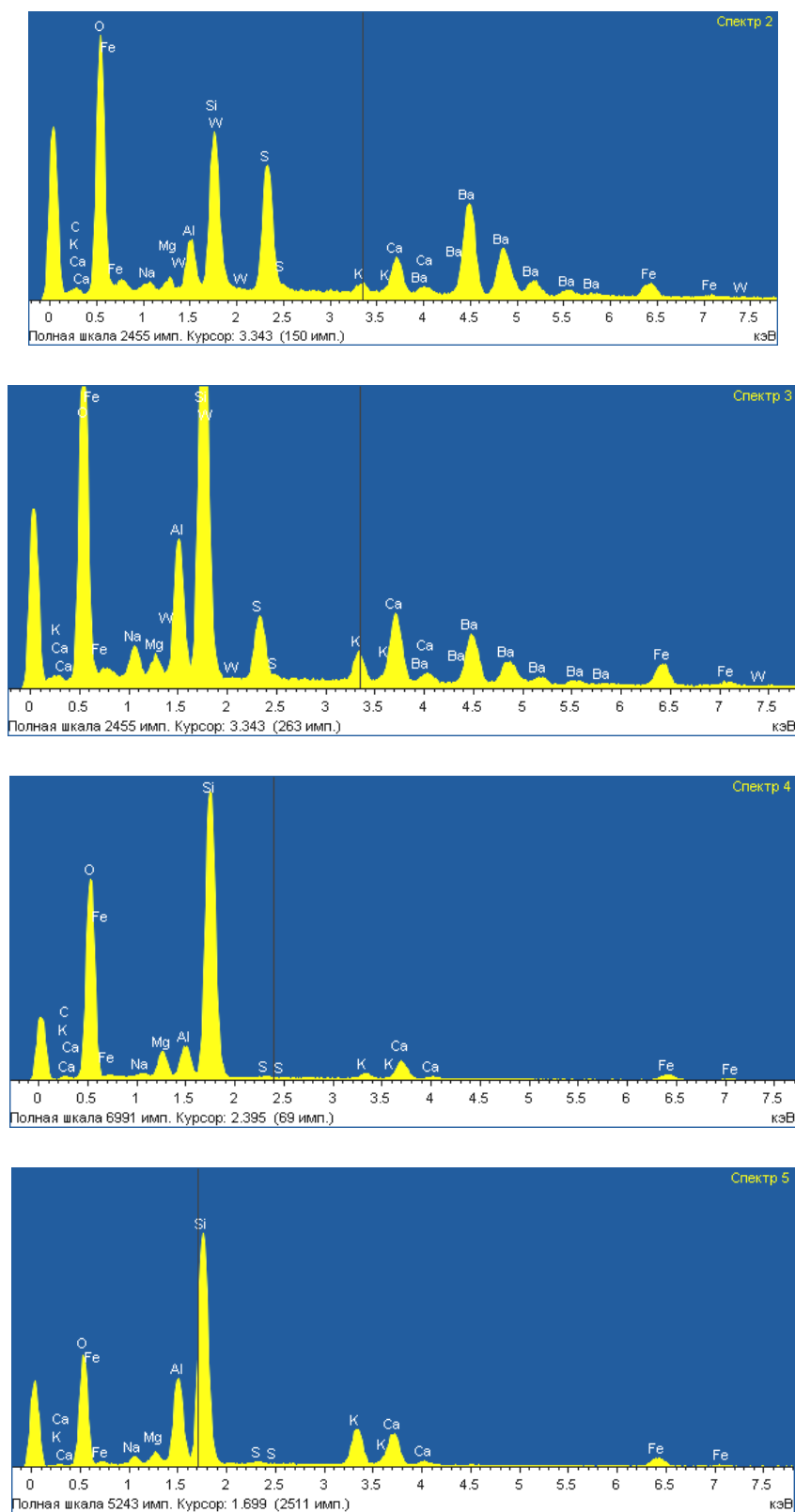


Рисунок 76 – Рентгенограмматермообработанных керамических образцов при температуре 950–1000°С с добавкой КСН

Анализ данных, полученных в результате электронно-микроскопических исследований, свидетельствует о более высоком уровне структурной организованности керамических масс, модифицированных органоминеральной конгломератной смесью с нефтешламом, по сравнению с керамическими массами, сформированными исключительно на основе лессовидного суглинка.

На микрофотографиях чётко прослеживается распределение частиц: тонкодисперсные минеральные компоненты глинистого сырья группируются вокруг включений органоминеральной добавки. Такое пространственное распределение объясняется процессами взаимного проникновения компонентов композиции: органоминеральная смесь с нефтешламом проникает в поровое пространство лессовидного суглинка, способствуя образованию прочных контактных связей. Это обусловлено наличием в составе нефтешлама высокомолекулярных соединений, таких как асфальтены и смолистые вещества, которые выполняют роль естественного связующего, повышающего когезию компонентов керамической массы.

В сформированной системе органоминеральная добавка с нефтешламом функционирует как дисперсная фаза, а матрица из тонкомолотого лессовидного суглинка – как дисперсионная среда. Такая структура способствует улучшению формовочных и технологических свойств материала.

После термообработки на электронных микроснимках наблюдается наличие большого количества микропор, формирующихся в результате термического разложения и выгорания органических составляющих нефтешлама. Эти микропоры равномерно распределены по объёму черепка, формируя характерную микропористую структуру, которая оказывает положительное влияние на теплофизические характеристики готового материала.

На основании комплексного анализа экспериментальных данных были разработаны и оптимизированы составы керамических масс на основе лессовидного суглинка с введением органоминерального конгломерата, включающего нефтешлам. Полученные композиции характеризуются сбалансированным сочетанием физико-механических свойств и соответствуют требованиям, предъявляемым к современным стеновым керамическим материалам с повышенными показателями ресурсо- и энергосбережения.

В процессе подбора оптимальных составов керамических композиций учитывались требования к физико-механическим характеристикам, соответствующим нормативным положениям, установленным в действующих стандартах (в частности, ГОСТ), а также критерии ресурсосбережения и энергоэффективности применяемых технологических процессов.

На основании анализа экспериментальных данных установлено, что указанные требования в полной мере удовлетворяют керамические массы с определёнными пределами варьирования компонентного состава. Оптимальными с позиции совокупности эксплуатационных показателей являются композиции, содержащие (в мас.%):

Лессовидный суглинок — 80–90;

Органоминеральная КСН — 10–20.

На основе результатов проведённых комплексных научно–экспериментальных исследований был осуществлён сравнительный анализ закономерностей изменения физико–механических свойств двух типов керамических материалов: образцов, полученных из чистого лессовидного суглинка, и разработанных составов с добавлением органоинеральной конгломератной смеси.

Целью такого сопоставления являлось выявление преимуществ и особенностей поведения модифицированных композиций в условиях технологической термообработки. Обобщённые результаты сравнительного анализа приведены в таблице 27.

Таблица 27 – Сравнительный анализ изменения физико–механических свойств керамических масс на основе чистого суглинка и с добавлением конгломератной смеси с нефтешламом

№	Т _{обж} , °С	Состав керамических масс, %	Свойства			Продол. обжига, час.
			Проч– ность при сжатии, МПа	Ср. плотность, кг/м ³	Водопог лоще– ние, %	
1	2	3	4	5	6	7
1	800	Лессовидный суглинок 100	6,7	1810	27,6	9
		Оптимальный состав композиции	4,42–4,87	1647–1655	28,2– 28,4	8,4
2	900	Лессовидный суглинок 100	7,4	1841	25,4	8,4
		Оптимальный состав композиции	6,4–6,8	1570–1600	26,4– 28,2	7,2
3	950	Лессовидный суглинок 100	7,4	1860	24,4	8,0
		Оптимальный состав композиции	10,4–10,8	1570–1610	26,4– 28,2	6,7

1	2	3	4	5	6	7
4	1000	Лессовидный суглинок 100	7,8	1880	23,8	7,7
		Оптимальный состав композиции	11,4–11,8	1610–1625	21,4–22,2	6,0
5	1100	Лессовидный суглинок 100	7,8	1880	23,8	7,5
		Оптимальный состав композиции	12,4–13,8	1627–1680	20,4–24,2	5,4

4.6 Исследования реологических свойств керамических масс в композиции «лессовидный суглинок–конгломератная смесь с нефтешламом»

Разнообразие методов оценки структурно–механических свойств обусловлено широким спектром существующих жидкостей и дисперсных сред.

При изучении реальных дисперсных систем, в зависимости от выбранной модели, зачастую достаточно анализа нескольких ключевых параметров. Например, для пастообразных материалов, таких как порошково–пластичные смеси, используемые в формовании, целесообразно определять предел текучести (P_m) и величину продольного смещения, что позволяет оценить общее состояние системы.

Для установления значения предела текучести (P_m) пластично–вязких сред разработан метод с использованием конического пластометра. Данный метод основан на измерении скорости погружения конуса в исследуемый материал под воздействием постоянной силы (F). Это позволяет получить реологическую кривую – зависимость скорости погружения (dh/dt) от напряжения (P), которое непрерывно снижается в процессе погружения из–за увеличения площади контакта конуса с материалом. Метод характеризует прочность структуры при низких скоростях деформации.

Для изучения упруго–пластично–вязких свойств дисперсных систем с не полностью сформированной структурой предложен метод экспериментального построения семейства кривых деформации, отражающих нарастание сдвига во времени при постоянном приложенном напряжении ($P=const$) после начала воздействия нагрузки.

Зависимости деформации ε от времени τ , представленные в виде кривых $\varepsilon=f(\tau)$, классифицируются по нескольким типам. Если приложенное напряжение P меньше критического значения P_{k1} , определяющего верхнюю границу упругости, наблюдается только упругое

последствие. В этом случае деформация полностью восстанавливается после снятия нагрузки. Однако, когда P превышает P_{K1} , возникает необратимая деформация, приводящая к установившемуся течению материала после прекращения упругого воздействия. На подобных кривых скорость деформации $d\varepsilon/d\tau$ стремится к минимальному постоянному значению $(d\varepsilon/d\tau)_{\min}$.

Для адекватного описания кривых $\varepsilon = f(\tau)$ эффективно использовать последовательное соединение моделей Максвелла–Шведова и Кельвина. Модель Максвелла–Шведова включает упругий элемент с модулем E_1 , соединенный последовательно с вязким элементом, который моделирует максимальную пластическую вязкость 1 . Этот вязкий элемент блокируется элементом сухого трения, имитирующим предел текучести P_{K1} (рисунок 77).

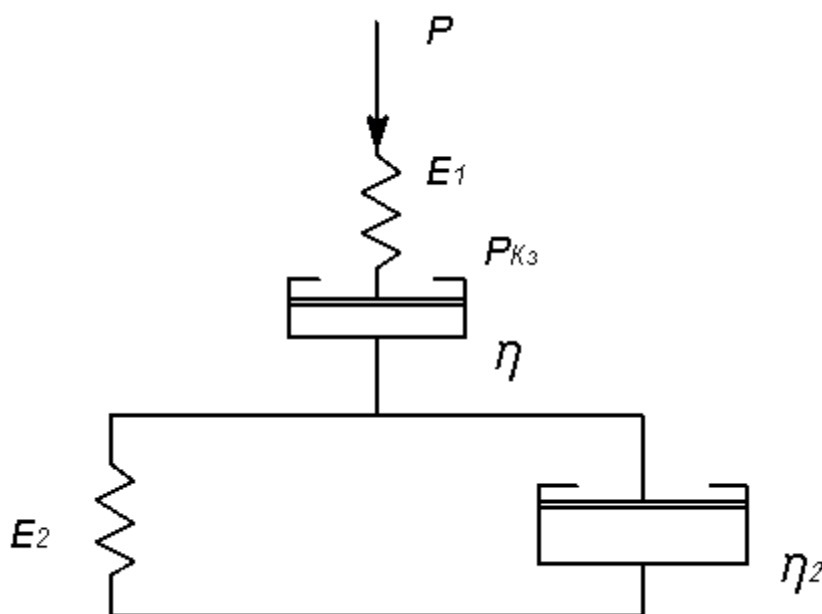


Рисунок 77 – Механическая модель Максвелла–Шведова и Кельвина

Модель Кельвина состоит из упругого элемента (E_2) и параллельно связанный с ним вязкий элемент (демпфер), который моделирует вязкость упругого последствия.

Модель Максвелла–Шведова и Кельвина для кривой кинетики деформации $\varepsilon = f(\tau)$ при $P = \text{const}$ приводит к следующему уравнению:

$$\varepsilon = \frac{P}{E_1} + \varepsilon \quad (12)$$

где: ε – толщина слоя или расстояния между пластинками

Из уравнения видно, что суммарная деформация ϵ происходящая за время τ , состоит из быстрой, медленной эластической и пластической деформации

Экспериментальные данные исследования процессов при деформации дисперсий глин установили, что по характеру развития выше перечисленных деформаций, которые получены из уравнения в сопоставленных условиях ($P=200 \cdot 10^3 \text{ Па}$; $\tau=1000 \text{ с}$), определяют следующие несколько механических типов структур (рисунок 78).

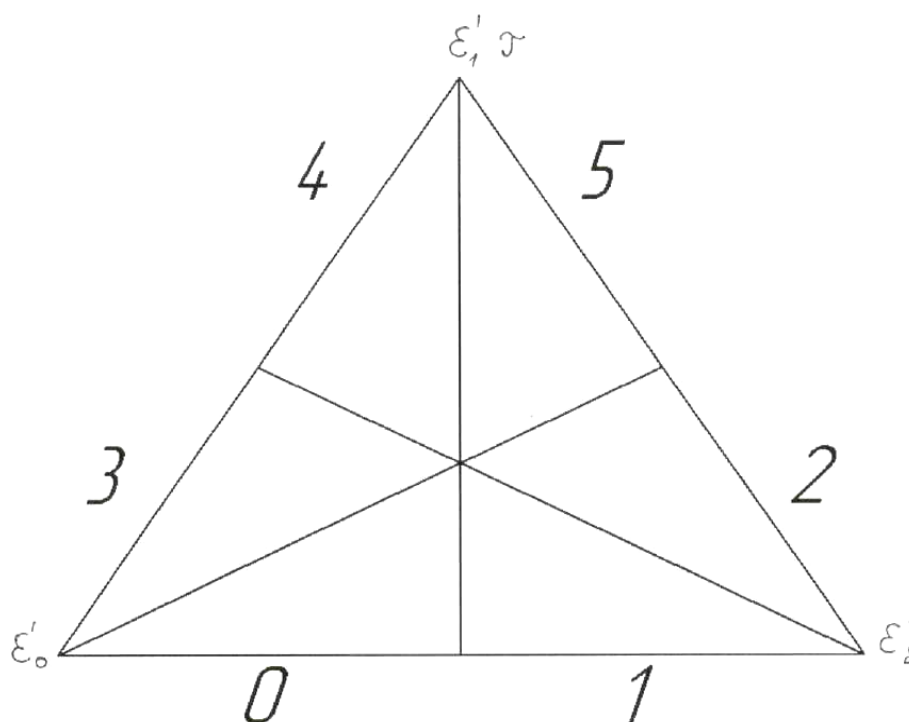
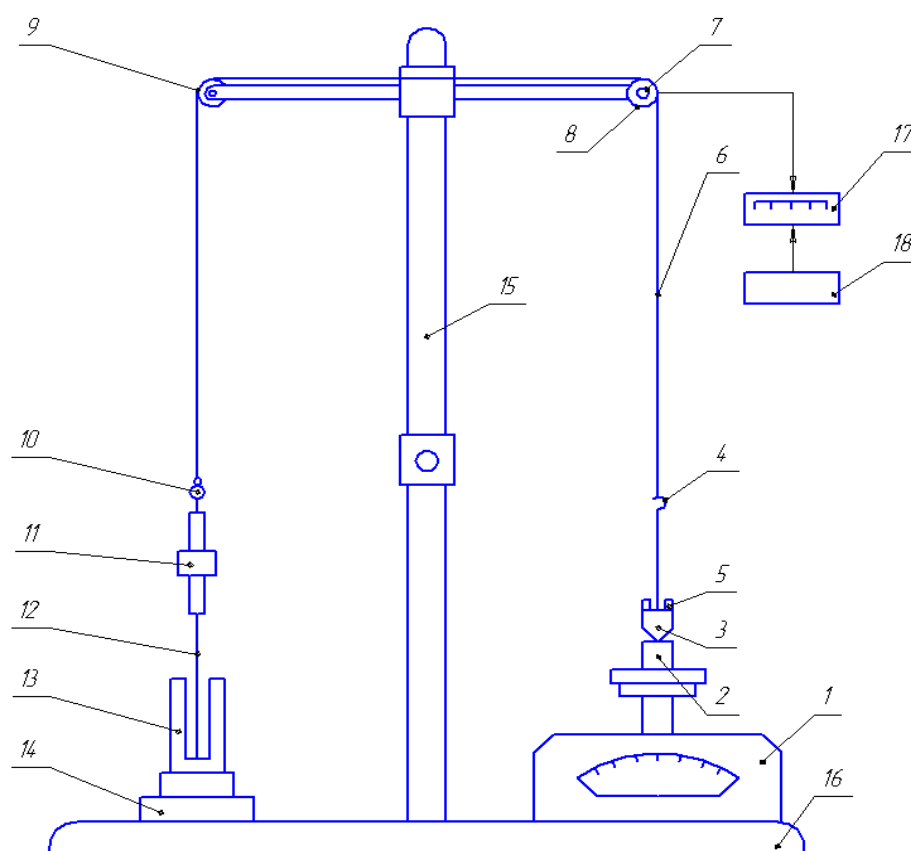


Рисунок 78 –Структурно–механические типы глин

Структурный тип водных дисперсий глин оказывает определяющее влияние на их поведение в технологических процессах. Соответственно, технологические свойства керамических масс напрямую связаны с особенностями их внутренней структуры. Для каждого этапа технологического цикла могут быть определены структурно–механические параметры, значения которых служат критериями качества формируемой керамической массы. Управление структурой и механическими характеристиками таких масс в процессе их формирования возможно посредством подбора состава пластичных и некондиционных глин, а также применения различных методов механической обработки, с учётом их деформационных свойств и установленных технологических критериев.

4.7 Оптимальная влажность и условия формирования смеси «лессовидный суглинок–конгломератная смесь с нефтешламом»

Отношение сырьевых керамических компонентов к формированию может быть оценено при помощи кривых пластическая прочность–абсолютная влажность $P_m = f(W)$. Прочностные свойства керамических масс определяется на коническом пластометре (рисунок 79), который разработан сотрудниками института коллоидной химии и химической технологии им. Думанского АН УССР.



- 1–квадратные веса; 2–цилиндрический сосуд с исследуемым материалом;
3–конический индикатор; 4–крючок; 5–гиря; 6–нить; 7– вал; 8–бесконтактный сельсин;
9–блок; 10–карабин; 11– микрометрический винт; 12–тросик; 13–вал;
14–электродвигатель; 15– стойка; 16–плита; 17–блок индикации; 18–блок питания

Рисунок 79 – Конический пластометр

На одну из чаш весов (1) устанавливается цилиндрическая кювета (2), содержащая исследуемый образец. С использованием дополнительных гирек производят тарирование прибора до ближайшего значения, кратного 100, после чего, переключив весы на следующий измерительный диапазон,

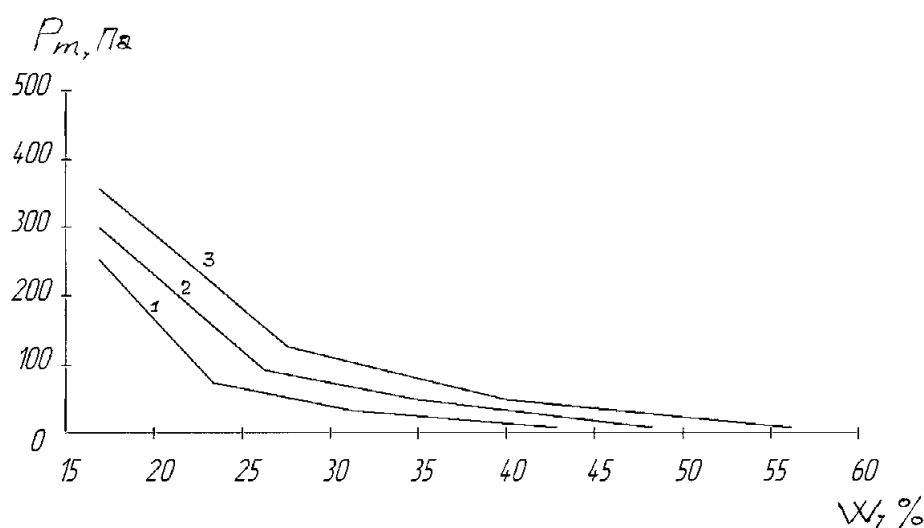
с помощью подвижной шкалы устанавливают равновесие (нулевое положение).

Затем посредством электродвигателя (14) или вручную опускают конус (3) до соприкосновения его вершины с поверхностью исследуемого материала. После этого показания блока индикации (17) обнуляют.

Следующим включением электродвигателя (или вручную) осуществляют погружение конуса в исследуемую систему. В процессе погружения на цифровом табло блока индикации (17) отслеживается величина вертикального перемещения конуса. При достижении заданного значения включается электродвигатель.

После внедрения конуса система выдерживается до завершения процессов медленной деформации, что определяется по стабилизации показаний весов.

С использованием метода физико–химической механики дисперсных структур в работе представлены результаты исследования зависимости пластической прочности суглинка от влажности — как в чистом виде, так и при введении нефтешлама (рисунок 80).



Ось абсцисс – влажность, $W, \%$;

ось ординат – пластическая прочность, $P_m-10-3, \text{Па}$.

Обозначение кривых 1) соотношение суглинок–конгломерат с нефтешламом 100:0; 2) тоже – 90 : 10; 3) тоже– 85 : 15

Рисунок 80 – Зависимость пластической прочности керамической массы от влажности

Для проведения экспериментов были подготовлены образцы из чистого Чаганского суглинка, а также композиции с добавлением органоминерального конгломерата, содержащего нефтешлам в количестве 10 и 15 мас.%. Составы сырьевых смесей подбирались на основе

предварительно определённого оптимального соотношения компонентов. Затворение проводилось водой в диапазоне влажности от 15 до 60% с шагом 5%. После выдержки в течение двух часов в эксикаторе исследуемые массы подвергались испытаниям на коническом пластометре.

Результаты исследований (рисунок 78) показали, что зависимости пластической прочности от влажности сырьевых композиций описываются двумя линейными участками, имеющими различные углы наклона к оси влажности (W), соединёнными между собой сглаженной кривой. Первый участок начинается при влажности 20–22,5 %, когда пластическая прочность достигает значений $P (60–185) \times 10^3$ Па. В этом диапазоне дисперсная система характеризуется наличием связанной, преимущественно адсорбированной воды, при этом содержание влаги в двойных диффузных слоях ионов остаётся недостаточным для полного формирования гидратных оболочек.

Переход ко второму участку, соответствующему снижению прочности ниже Па при влажности около 30 %, сопровождается завершением процесса образования гидратных оболочек, в результате чего масса достигает состояния, характеризующегося оптимальной формуемостью. При дальнейшем увеличении влажности структура массы теряет связанность, приобретает свойства суспензии и перестаёт поддаваться формованию.

Следовательно, оптимальной формовочной влажностью керамической массы следует считать ту, которая соответствует переходу от линейного участка зависимости к сглаженной кривой, отражающей изменение структуры. Эта точка определяется на графике PW как зона перегиба между первым и вторым участками.

В условиях промышленного производства контроль влажности массы ограничен, и амплитуда допустимых колебаний влажности ΔW редко может быть удержана в пределах менее 2 %. При этом высокая допустимая величина ΔW свидетельствует о технологической гибкости массы, позволяющей получать хорошо формирующиеся изделия при значительных колебаниях влажности.

Чаганский суглинок относится к малосвязным, трудно формируемым глинистым материалам, что связано с его низкой удельной поверхностью, слабым развитием контактной структуры и высоким содержанием полторных окислов. Это обуславливает малую величину угла наклона зависимости $P_m = f(W)$. В связи с этим для улучшения формуемости и достижения требуемых эксплуатационных характеристик готовой продукции при минимальных энергозатратах возникает объективная необходимость в подборе и введении эффективных функциональных добавок.

Результаты экспериментальных исследований по определению оптимальной формовочной влажности керамических масс на основе

лессовидных суглинков в композиции с органоминеральным конгломератом, содержащим нефтешлам, представлены на рисунке 78. Установлено, что в зависимости от содержания добавки оптимальная формовочная влажность варьируется в пределах 25,0–27,5 %, при этом пластическая прочность керамических масс составляет $(60–185) \times 10^3$ Па.

Экспериментальные данные также свидетельствуют о том, что критическая концентрация структурообразования для чистого суглинка составляет 22,5%. Введение нефтешлама в количестве 15% повышает эту величину до 25%, тогда как добавка в 10 — до 27,5%.

Ранее проведённые исследования показали, что керамическая масса на основе чистого суглинка характеризуется низкой формуемостью и склонностью к хрупкому разрушению при технологической обработке. Введение нефтешламовой добавки в количестве 10–15 % способствует улучшению формуемости: при достижении оптимального уровня влажности (25–26 %) обеспечивается формирование массы без образования трещин, расслоений и других дефектов.

Зависимость пластической прочности керамической массы от содержания влажности в разработанной композиции показана в таблице 28.

Таблица 28 – Зависимость пластической прочности керамической массы от содержания влажности в разработанной композиции

№	Наименование пробы	Пластическая прочность в зависимости от влажности, %								
		20	23	26	29	32	35	38	41	50
1	Суглинок	19,5	5,9	5,04	3,25	2,90	0,84	0,65	–	–
2	Добавка 10%	22,1	10,7	8,8	5,7	4,6	3,3	2,9	1,7	–
3	Добавка 15%	28,9	19,2	15,3	10,6	9,1	6,5	4,3	3,8	2,5

Дальнейшее увеличение содержания тонкодисперсного сыпучего органоминерального конгломерата с нефтешламом в составе керамической массы является экономически нецелесообразным, поскольку не приводит к существенному улучшению технологических свойств и отрицательно сказывается на себестоимости готовой продукции.

4.8 Определение упруго–вязко–пластических свойств в композиции «лессовидный суглинок–конгломератная смесь с нефтешламом»

4.8.1 Методика проведения эксперимента

Образцы исследуемой кармической композиции помещали между пластинками, так чтобы зубчики пластинок полностью погрузились в

массу. Излишки массы срезали вровень с краями пластинок. Толщину образца массы вместе с пластинами измеряли микрометром в двух–трех местах, при этом колебания не превышали 0.2 мм. Во избежание потерь влаги во время опыта боковые стороны образца покрывали вазелином.

Вес первой нагрузки, необходимый для начала пластического течения, т.е. получения кривой с прямым наклонным участком, выбирали путем серии предварительных кратковременных нагружений небольшими постепенно нарастающими грузами (начиная со 100 г). Деформацию отсчитывали по истечении 1,5, 10, 15, 30, 45 сек., 1, 2, 3, 5, 10 и 15 мин. Затем нагрузку снимали постепенно возрастающий с каждым нагружением масса груза подбирали так, чтобы получить не менее шести нагружений.

Для проведения эксперимента подготовлены по три состава: Чаганский суглинок без добавки, и с добавками органоминерального конгломерата 10,0%, и 15,0% .

По результатам исследования трех составов на приборе Толстого строились графики в координатах $\varepsilon(\tau)$ на рисунке 79 и таблице 45 приведены, графики расчеты констант основных свойств исследуемых керамических масс. По графикам находили величины ε_0 – от начала координат до первой точки на оси ординат, называемой быстрой эластической деформацией, и ε_2 – отрезок от точки ε_0 до пересечения прямой соединяющий токи течения с осью ординат, называемой медленной эластической деформацией.

Градиент скорости развития пластической деформации $d\varepsilon'/dt$ вычисляется как отношение разности ($\varepsilon_k - \varepsilon_2$) ко времени нагружения Δt , умноженную на толщину слоя массы в см.

Напряжение сдвига (Па) вычисляется по формуле:

$$\tau = F / A \quad (13)$$

где τ – напряжение сдвига,

F – приложенная сила,

A – площадь поперечного сечения (5,0 x 2,0 см.)

Все величины, найденные из графиков принимались к расчету констант основных свойств масс модуля быстрой пластической деформации $F_{\text{б}}$; модуля медленной эластической деформации; наибольшей пластической вязкости

Условная суммарная относительная деформация ε рассчитывалась по уравнению Максвелла–Шведова при $P=20\text{--}104\text{Па}$ и времени деформации $\tau=1000$ сек.

В соответствии со значениями относительной деформации определяем характер развития деформации на тройной диаграмме и структурно–механический тип системы.

Кривые $\varepsilon(\tau)$ при $P=\text{const}$ и расчет констант упруго–пластично–вязких свойств суглинка Чаганского с добавкой 10 % конгломератной смеси с нефтешламом показаны на рисунке 81.

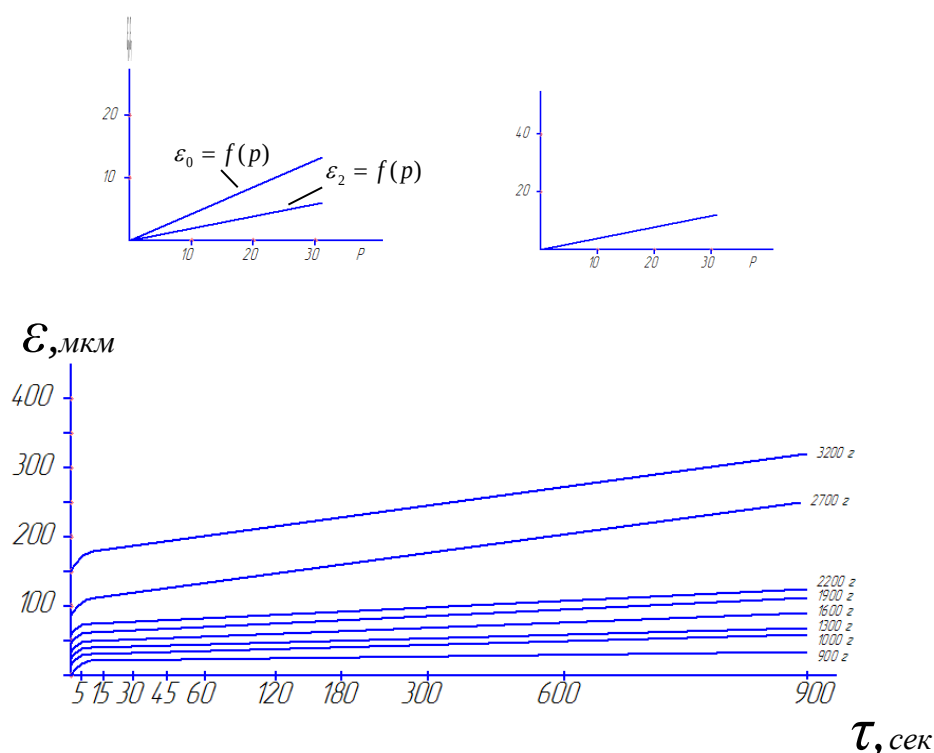


Рисунок 81 – Кривые $\varepsilon(\tau)$ при $P=\text{const}$ и расчет констант упруго–пластично–вязких свойств суглинка Чаганского с добавкой 10 % конгломератной смеси с нефтешламом

Данные графической обработки результатов испытаний суглинка Чаганского месторождения, с добавкой 10,0 % конгломератной смеси с нефтешламом показаны в таблицах 29, 30; с добавкой 15% в таблице 31.

Таблица 29 – Данные графической обработки результатов испытаний суглинка Чаганского месторождения.

№ п/п	F, Г	$P_m \cdot 10^{-3}, \text{Па}$	$\varepsilon_0 \cdot 10^4, \text{см}$	$\varepsilon_2 \cdot 10^4, \text{см}$	$\frac{d\varepsilon'}{d\tau} \cdot a \cdot 10^7, \text{сек}^{-1}$
1	500	5000	2	0,8	$\frac{0,005}{900 \cdot 1,13} = 4,91$
2	1000	10000	4	2,8	8,04
3	1300	13000	5	4,4	8,36
4	1600	16000	8	5,2	9,04
5	1900	19000	12	6,4	9,53
6	2200	22000	13	6,8	11,61
7	2700	27000	16	1,6	17,79
8	3200	32000	28	19,0	26,4

Таблица 30– Данные графической обработки результатов испытаний суглинка с добавкой 10,0 % конгломератной смеси с нефтешламом

№ п/п	$F, \text{г}$	$P_m \cdot 10^{-3}, \text{Па}$	$\varepsilon_0 \cdot 10^4, \text{см}$	$\varepsilon_2 \cdot 10^4, \text{см}$	$\frac{d\varepsilon'}{d\tau} \cdot a \cdot 10^7, \text{сек}^{-1}$
1	300	3000	2	1,2	4,27
2	500	5000	4,6	6,4	9,95
3	1000	10000	16,0	18,0	13,30
4	1500	15000	22,0	23,0	23,26
5	2000	20000	32,0	32,8	36,1

Кривые $\varepsilon(\tau)$ при $P=\text{const}$ и расчет констант упруго–пластично–вязких свойств суглинка Чаганского с добавкой 15 % конгломератной смеси с нефтешламом показаны на рисунке 82.

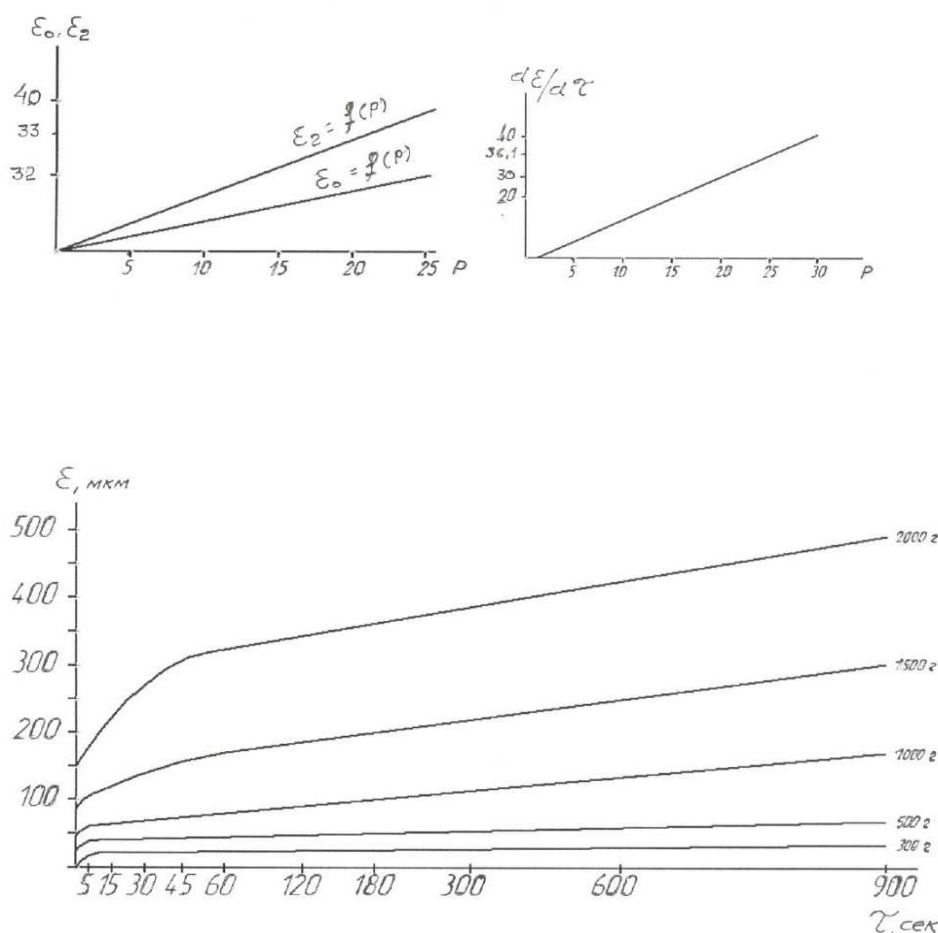


Рисунок – 82 Кривые $\varepsilon(\tau)$ при $P=\text{const}$. расчет констант упруго–пластично–вязких свойств суглинка Чаганского с добавкой 15,0% конгломератной смеси с нефтешламом

Таблица – 31 Данные графической обработки результатов испытаний суглинка с добавкой 15,0 % конгломератной смеси с нефтешламом

№	$F, \text{г}$	$P_m \cdot 10^{-3}, \text{Па}$	$\varepsilon_0 \cdot 10^4, \text{см}$	$\varepsilon_2 \cdot 10^4, \text{см}$	$\frac{d\varepsilon'}{d\tau} \cdot a \cdot 10^7, \text{сек}^{-1}$
1	300	3000	0,2	2,0	1,86
2	500	5000	2,0	3,0	4,65
3	1000	10000	6,0	12,1	10,80
4	1500	15000	20,0	18,4	22,97
5	2000	20000	24,0	37,2	36,0

Установлено, что добавка 10–15% органоминеральной смеси с нефтешламом в системе «лессовидный суглинок–конгломератная смесь с нефтешламом» повышает её пластическую прочность на 18–20%. Это связано с присутствием в нефтешламе асфальтенов, нефти и смол, усиливающих коагуляционные структуры при формовочной влажности 20–24%.

Выводы по главе 4.

1. Проведены исследования влияния органоминеральной конгломератной смеси с нефтешламом на реологические свойства лессовидного суглинка Чаганского месторождения. Установлено, что исследуемый суглинок без добавки относится ко второму структурно–механическому типу, у которых преобладает развитие быстрых эластических деформации, что характеризует плохую формуемость и способность хрупкому разрушению при воздействии деформационных нагрузок на технологической стадии пластического формования изделия.

2. Выявлены изменения пластической прочности керамической композиции в системе «лессовидный суглинок–органоминеральная конгломератная смесь с нефтешламом». Установлено, что введение органоминеральной конгломератной смеси с нефтешламом в количестве 10–15 % увеличивает пластическую прочность системы на 18–20 % за счет содержания в нефтешламе асфальтенов, нефти и смол, способствующие упрочнению коагуляционных структур в области формовочной влажности 20–24 %.

3. Исследованы упругопластично вязкие свойства керамической композиции с содержанием органоминеральной конгломератной смеси с нефтешламом 10 % и 15 % и установлено, что органоминеральной конгломератной смеси с нефтешламом в указанных пределах способствует снижению быстрых эластических деформации на 10–15 % и повышению медленных эластических деформации на 15–17 % с сохранением пластических деформации на уровне показателей керамической массы на основе чистого лессовидного суглинка.

4. Результаты исследования показывает о положительном влиянии содержания органоминеральной конгломератной смеси с нефтешламом на структурно–механические свойства лессовидных суглинков, так как керамическая масса с содержанием органоминеральной конгломератной смеси с нефтешламом переводится со второго структурного типа на третий тип что, наиболее благоприятно для формования. Это объясняется тем, что преобладающее развитие медленных эластических деформаций полностью компенсирует возникающие при формовании напряжения без разрушения сплошности выдавливаемой массы.

5. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АПРОБАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ КЕРАМЗИТА И КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

5.1 Проведение заводских испытаний на основе керамических масс с использованием конгломератных смесей в системах «лессовидный суглинок–нефтьшлам» и «мелкозернистый песок–нефтьшлам»

В рамках проведения научно–исследовательских и опытно–экспериментальных работ, реализованных в лабораторных условиях учебно–производственного центра при ЗКАТУ имени Жангир хана, были разработаны и оптимизированы составы на основе керамических масс, включающих конгломератные смеси. Эти смеси формировались на основе суглинка ЗКО по технологическим схемам с использованием систем «ЛС–Н» и «МП–Н». Полученные составы прошли этап апробации и оценки в условиях промышленного производства. Промышленные испытания, направленные на внедрение энергоэффективной технологии изготовления керамических материалов на основе указанных композиций, были реализованы в ноябре 2016 года в керамзитовом цехе предприятия ТОО «Стройкомбинат».

Опытно–промышленные испытания охватывали два варианта составов, соответствующих вышеуказанным системам. Преобразование нефтьшлама из жидкой фазы в сыпучее конгломератное состояние осуществлялось в соответствии с ранее разработанными технологическими решениями в лабораториях ЗКАТУ им. Жангир хана и ТОО «ИННОТЕХПРОЕКТ». Смеси готовились путём механического перемешивания нефтьшлама с лессовидным суглинком и, отдельно, с мелкозернистым песком в соотношении компонентов 1:5. Шихтовой состав сырьевых смесей представлен в таблице 32 .

Таблица 32 – Шихтовой состав сырьевых систем

№ состава	Содержание компонентов, масс %	
	Лессовидный суглинок	КС в системе «ЛС–Н»
1	75	25
2	85	15
	Лессовидный суглинок	КС в системе «МП–Н»
3	75	25
4	85	15

Введение конгломератной добавки, содержащей нефтьшлам, осуществлялось непосредственно на этапе подготовки лессовидного

суглинка, путём её дозированной подачи над ленточным конвейером (см. рисунок 83).



Рисунок 83 – Процесс введения конгломератной смеси в технологическую линию на ленточном конвейере

Подготовленная сырьевая смесь транспортировалась ленточными конвейерами в двухвальный смеситель, где осуществлялось её интенсивное перемешивание. После стадии смешивания материал направлялся в дырчатые вальцы, в которых формировались сырцовые гранулы цилиндрической формы. Полученные гранулы подвергались сушке при помощи отходящих газов печи, после чего следовал этап обжига. Обжиг произведен во вращающейся печи при температурном режиме 1120–1150°C (рисунок 84).



Рисунок 84 – Процесс обжига керамзита во вращающейся печи на предприятии ТОО «Стройкомбинат»

После завершения процесса обжига гранулы керамзита подвергались охлаждению в соответствии с установленной на предприятии технологией. Объём каждой опытно–промышленной партии

керамзитового заполнителя составил 10 м³ для каждого из разработанных составов.

Полученный обожжённый керамзит, как легкий заполнитель, характеризовался наличием спекшейся оболочки и выраженной пористой структурой. По завершении полного цикла технологической обработки, образцы продукции были направлены на испытания в аккредитованную лабораторию ТОО «Стройкомбинат», где проведена оценка их физико–механических характеристик.

Сравнительные данные по основным физико–механическим свойствам опытно–промышленных образцов легких керамических заполнителей представлены в таблице 33.

Таблица 33 – Сравнительный анализ свойств заводского керамзита и опытных образцов, полученных с применением конгломератной смеси на основе нефтешлама по двум композициям

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Заводской керамзит	Керамзит с добавлением КС в системе «ЛС–Н»	Керамзит с добавлением КС в системе «МП–Н»
1.	Температура обжига	° С	1250	1150±20	1150±20
2.	Прочность при сдавливании в цилиндре	МПа	1,38	2,1–2,6	4,5–4,9
3.	Насыпная плотность	кг/м ³	316	350–400	570–597
4.	Водопоглощение	%	25,85	18	17,8
5.	Морозостойкость	циклы	Соответствует нормативным показателям		

Примечание: КС–конгломератная смесь

Технологическая схема производства керамзита с применением лессовидного суглинка и конгломератной добавки в 2х системах показана на рисунке 85.



Рисунок 85 – Технологическая схема производства керамзита с применением лессовидного суглинка и конгломератной добавки в 2х системах

Результаты промышленных испытаний по получению пористых заполнителей типа керамзита подтвердили следующие положения:

1. Введение конгломератной смеси на основе нефтешлама в оптимизированные составы, сформированные в рамках двух исследуемых систем, способствовало значительному повышению степени вспучивания сырьевой массы. Это обусловлено наличием в нефтешламе органических веществ и присутствием железистых оксидов в составе глинистого компонента, усиливающих газообразование при обжиге.

2. Разработана энергоэффективная технология производства керамзита с использованием нефтешлама, ориентированная на вовлечение в переработку местных глинистых пород Казахстана, обладающих слабой или отсутствующей способностью к вспучиванию.

3. Согласно требованиям стандарта СТ РК 948–92, опытные образцы керамзита, полученные по данной технологии, соответствуют маркам по насыпной плотности: 350, 400 и 600, а также прочностным характеристикам П50 и П125 в системах «ЛС–Н» и «МП–Н».

4. Разработанные составы керамических композиций, содержащие энерговыделяющий компонент в виде конгломератной смеси на нефтешламовой основе, рекомендованы к промышленному внедрению. Их применение позволяет не только повысить физико–механические показатели готового продукта, но и обеспечить сокращение расхода топливных ресурсов на обжиг на 25–30 %.

Морозостойкость керамзитовых заполнителей, полученных с использованием конгломератной добавки, в обеих исследованных системах соответствует действующим нормативным требованиям.

5.2 Проведение испытаний разработанных керамзитов в бетоне

Керамзит, полученный в ходе промышленных испытаний, был использован в качестве заполнителя при изготовлении опытных образцов керамзитобетонных изделий, в том числе малогабаритных стеновых блоков. Изготовление образцов и проведение их испытаний на соответствие нормативным требованиям осуществлялись в аккредитованной испытательной лаборатории университета. Производство самих малогабаритных стеновых блоков было организовано на базе лаборатории университета.

В качестве исследуемых образцов использовались опытно–промышленные партии керамзита, полученные на производственной базе ТОО «Стройкомбинат» на основе двух экспериментальных составов сырьевых смесей:

- система «ЛС–Н»;
- система «МП–Н».

Физико–механические характеристики керамзита, полученного из указанных композиций, следующие:

Для системы «ЛС–Н»: насыпная плотность составила 340–400 кг/м³, коэффициент теплопроводности – 0,07–0,08 Вт/(м*°С), прочность при сжатии в цилиндре – 2,1–2,6 МПа.

Для системы «МП–Н»: насыпная плотность – 570–597 кг/м³, коэффициент теплопроводности – 0,16–0,17 Вт/(м*°С), прочность при сжатии в цилиндре – 4,5–4,9 МПа.

Композиции для приготовления керамзитобетона разрабатывались в соответствии с требованиями ГОСТ 27006, с учётом обеспечения экономичности, высокой удобоукладываемости бетонной смеси, необходимой прочности, плотности, а также минимального расхода цемента.

Для системы с керамзитом на основе «лессовидный суглинок – нефтешлам» был принят следующий состав бетонной смеси (по массе): цемент – 240 кг, песчано–гравийная смесь – 330 кг, керамзит разработанного состава – 670 кг, вода – 100–110 л.

Для системы «мелкозернистый песок – нефтешлам»: цемент – 245 кг, песчано–гравийная смесь – 330 кг, керамзит разработанного состава – 680 кг, вода – 90–100 л.

Все компоненты предварительно взвешивались и дозировались с использованием весового оборудования, после чего загружались в смеситель установки «Мастек–Метеор». После загрузки сухих компонентов добавлялась расчетная доза воды, и смесь перемешивалась до получения однородной полусухой массы.

Готовая смесь по конвейерной линии подавалась в бункер дозатора, откуда затем поступала в формовочный агрегат для заполнения матрицы. Формование изделий осуществлялось методом вибропрессования, что позволяло одновременно изготавливать три стеновых блока.

После формовки изделия направлялись на твердение в условиях естественной температуры и влажности. Технологическая линия по производству опытных образцов показана на рисунке 86.



Рисунок 86 – Технологическая линия получения керамзитоблоков на установке «Мастек–Метеор»

Опытные образцы малогабаритных стеновых блоков из керамзита разработанного состава показаны на рисунке 86.



Рисунок 86 – Опытные образцы малогабаритных стеновых блоков из керамзита разработанного состава

Проведены испытания физико–механических показателей керамзитобетона, полученного с использованием разработанного керамзита.

Результаты проведённых испытаний представлены в таблице 34.

Таблица 34 – Сравнительные результаты испытаний керамзитобетона на основе двух экспериментальных составов заполнителя

Наименование	Показ.п лот– ности в сух. сост., кг	Класс проч– ности при сжатии	Класс по морозо– стой– кости	Теплопро– водность Вт/м*К	Водопог– лощение, %
Керамзито– бетон на основе разработан– ного состава в системе «ЛС–Н»	850–885	B5	F50	0,25	17
Керамзито– бетон на основе разработан– ного состава в системе «МП–Н»	1250– 1350	B10	F50	0,4	16

Анализ данных таблицы показывает: керамзит, полученный с добавлением лессовидного суглинка и КС в системе «ЛС–Н», характеризуется низкими значениями теплопроводности и плотности. Эти свойства обуславливают его целесообразность применения в составе теплоизоляционных бетонов.

В то же время, керамзит, полученный с использованием мелкозернистого песка и нефтешлама в качестве компонентов конгломератной смеси, демонстрирует высокие прочностные характеристики при умеренных показателях теплопроводности. Такая комбинация свойств делает его перспективным материалом для производства конструкционно–теплоизоляционных бетонов.

Сравнительный анализ физико–механических характеристик малогабаритных стеновых блоков, изготовленных с применением разработанного керамзита, и традиционных керамзитобетонов, производимых ТОО «Стройкомбинат», приведён в таблице 35

Таблица 35 – Сравнение физико–механических свойств малогабаритных стеновых блоков на основе разработанного и промышленного керамзита (ТОО «Стройкомбинат»)

Наименование	Плотность в сухом состоянии, кг	Класс прочности при сжатии	Класс морозостой- кости	Теплопровод- ность Вт/м*К
Керамзитобетон в системе «ЛС–Н»	820–845	B5	F50	0,25
Керамзитобетон заводской	800	B4,5	F25	0,35
Керамзит в МП–Н»	1100–1150	B10	F50	0,4
Керамзитобетон заводской	1100	B7,5	F25	0,8

На основании анализа представленных в таблице данных можно сделать следующие выводы: керамзитобетон, модифицированный за счёт применения разработанного керамзита, демонстрирует более высокие прочностные характеристики — классы по прочности составляют B5 и B10 при использовании керамзита, полученного в системах «ЛС–Н» и «МП–Н» соответственно. При этом наблюдаются пониженные значения теплопроводности — 0,25 и 0,4 Вт/(м*К), что выгодно отличает данные составы от промышленного керамзитобетона, выпускаемого

ТОО «Стройкомбинат», с показателями прочности В4,5 и В7,5 и более высокими коэффициентами теплопроводности — 0,35 и 0,8 Вт/(м*К).

Учитывая полученные результаты, керамзит, полученный на основе суглинка в системе «ЛС–Н», целесообразно применять для производства лёгких теплоизоляционных бетонов. В то время как керамзит, полученный в системе «МП–Н», рекомендуется использовать при изготовлении конструкционно–теплоизоляционных бетонов.

На разработанные составы и изготовленные из них блоки лёгких бетонов получен сертификат соответствия. Продукция соответствует требованиям безопасности, установленным стандартом СТ РК 945–92, тип СКЦ.

5.3 Оценка технико–экономической целесообразности применения разработанных композиций

В настоящем исследовании в качестве основного сырья для получения керамзита использовались не вспучивающиеся суглинки Чаганского месторождения (Западно–Казахстанская область), нефтяные отходы (нефтешламы) нефтяной компании ТОО «Жайыкмунай» (ЗКО), а также мелкозернистый песок Бокейординского месторождения. Цеховые и общезаводские расходы определялись на основе данных действующего предприятия.

Географическое расположение сырьевой базы

Суммарные запасы используемого сырья составляют порядка 6084 тыс. м³ согласно сведениям о размещении месторождений полезных ископаемых Западного Казахстана. Лессовидный суглинок Чаганского месторождения расположен в 1,5–2,0 км к юго–западу от реки Чаган и занимает территорию протяжённостью около 8–12 км.

Нефтяной шлам, образующийся в процессе деятельности ТОО «Жайыкмунай», транспортируется на производственную площадку с помощью специализированных нефтевозов. Мелкозернистый песок Бокейординского месторождения находится на расстоянии около 502 км от г. Уральска; его доставка осуществляется автомобильным транспортом марки КАМАЗ.

Капитальные вложения

В объем капитальных вложений включены расходы на оборудование, строительно–монтажные работы.

Определение объема капитальных вложений: оборудование – 511,6 млн. тг., строительно–монтажные работы – 486,25 млн. тг. Всего: 997,85 млн. тг.

Расчет объема капитальных вложений представлен в таблице 36.

Таблица 36 – Расчет объема капитальных вложений

Наименование	Стоимость ОФ, млн.тг	Норма амортиза- ции,%	Сумма амортиза- ции, млн. тг.	Ремонтный фонд, млн.тг–70% от суммы амортизации
ОФ:	1200,0			
строение	650,0	7	45,5	31,9
оборудование	550,0	10	55,0	38,5

Норма амортизации определена в соответствии с Приказом Министра финансов РК от 10 февраля 2016 года № 59.

Расчет необходимых материалов и ресурсов показан в таблице 37.

Таблица 37 – Расчет потребности в материальных ресурсах

Наименование материала	Ед. изм.	Цена за ед., тг	Уд. расход матер. ресурсов, %	Годовая потреб- ность	Стоимость мат. ресурсов, млн
Сырье:	Т				
суглинок	т	280	90,0	16000	4,48
песок	т	700	90,0	1300	0,9
нефтешлам	т	200	0,15	800	0,16
вода	м ³		0,151	4500	0,005
Топливо: газ	тыс.м ³		0,1	2715	42
Электроэнер- гия	тыс. кВт.ч	25850	0,025	740	19,12
Всего	66 665 000 тг.				

Расчет численности персонала и ФОТ

Для обеспечения технологического процесса производства лёгких заполнителей и его обслуживания необходим персонал численностью 17 человек, включая:

- работников основного производства – 10 человек,
- сотрудников вспомогательных служб – 2 человека,
- ремонтный персонал – 3 человека,
- инженерно-технических работников и служащих – 3 человека.

Общая численность персонала составляет 17 человек. Годовой фонд оплаты труда всего производственного и обслуживающего персонала

составляет 22,92 млн тенге.

Расчёт затрат на оплату труда производственного персонала представлен в таблице 38.

Таблица 38 – Расчёт затрат на оплату труда производственного персонала

Наименование	Численность, чел	Среднегодовая зарплата, тыс.тенге	Годовой фонд зарплаты, млн.тенге
Кол-во специалистов	17	5220	22,9
– ОР	10	1200	12,0
– РВ	2	1140	2,2
– ПРО	3	1200	3,6
– ИТР и служащие	3	1680	5,04

Подсчет расходов (содержание, эксплуатация технологического оборудования) определен в размере 45 млн. тенге на завод мощностью 30 000 м³ в год (таблица 39).

Таблица 39 – Расчеты расходов на содержание, эксплуатацию технологического оборудования

№	Наименование	Сумма, млн. тенге
1	Амортизация оборудования	34
2	Содержание оборудования – зарплата	1,8
3	РФ оборудования	6
4	ГСМ	0,7
5	Оплата труда	0,5
6	Прямые затраты	2
	Всего	45

Калькуляционные расчёты себестоимости производства 10 м³ керамзита, полученного на основе разработанных составов керамических композиций, представлены в таблице 40.

Таблица 40 – Расчёт себестоимости 10 м³ керамзита на основе экспериментальных керамических составов

Наименование статей затрат	Ед. измерения	Себестоимость по заводу	Себестоимость керамзита на основе разработанного состава
Сырьевые материалы	тенге	1400	1490
Топливо	тенге	83000	5020

Продолжение таблицы 40

Электроэнергия	тенге	3300	2015
ЗП	тенге	13260	13220
Расходы по содержанию и эксплуатации оборудования	тенге	6750	6710
Цеховые расходы	тенге	3470	2430
Общезаводские расходы	тенге	2390	1485
Полная себестоимость	тенге	38870	32370

Обобщённые технико-экономические показатели проекта (таблице 41).

Таблица 41 – Обобщённые технико-экономические показатели проекта

Наименование	Ед.изм.	Показатели по заводу	Показатели предлагаемой технологии
Мощность завода	м ³	30000	30000
Себестоимость сырьевых материалов	тенге	1390	1490
Расход условного топлива на 10 м ³ керамзита	м ³	460	280
Расход электроэнергии на 10 м ³ керамзита	кВт.ч.	252	156
КР, в т.ч. основных	чел.	15	17
Кап.вложения, всего	тыс.тг.		1200
Удельные кап.вложения на 10м ³ керамзита	тенге	45,2	45,2
Себестоимость на 1 м ³ керамзита	тенге	3860	3240

Продолжение таблицы 41

Оптово–отпускная цена на 10 м ³ керамзита	тенге	80 000	75 000
Эк. эффект	тыс.тг.		18600
Прибыль завода	тыс.тг.		1278 000
Показатели окупаемости капитальных вложений	годы		1

Прибыль завода при использовании разработанного керамзита определяется из следующих составляющих:

1. Оптово–отпускная цена 1 м³ керамзита – 7500 тенге.
2. Определение себестоимости керамзита керамзита в разработанных системах – 3240 тенге.
3. Определение годового выпуска продукции – 30 000 м³.
4. Прибыль завода определяют по формуле:

$$П = (Ц_{от} - C_2) \times A \quad (14)$$

где П – выгода завода, тыс.тг.

$C_{от}$ – отпускная цена керамзита, объемом 10 м³,

C_2 – себестоимость керамзита, объемом 10 м³

A – годовой выпуск продукции,

$$П = (75000 - 32400) \times 30000 = 1278 \text{ тыс. тенге.}$$

2. Окупаемость капитальных вложений определяют по формуле:

$$O = \frac{KB}{П} \quad (15)$$

где $O_{кв}$ – показатель окупаемости кап.вложений, год

KB – кап.вложения, тыс. тг.

П – прибыль завода, тыс. тг.

$$O_{кв} = 1200000 / 1278000 \approx 1 \text{ год.}$$

Экономический эффект:

1. Себестоимость 1м³ керамзита по заводу – 3860 тенге
2. Себестоимость 1м³ керамзита – 3240 тенге
3. Показатели уд.кап. вложений на
на 10м³ керамзита – 45,2
4. Мощность завода – 30 000 м³ керамзита
5. Расчет экономического эффекта при коэффициенте 0,15 составит:

где Э – годовой экономический эффект, тыс. тенге,

Z_1, Z_2 – приведенные расходы в расчете на керамзит,

C_1, C_2 – себестоимость керамзита, тг,

K_1, K_2 – показатели уд.кап. вложений на 1 м³ керамзита, тг,

E – норма коэффициент, 0,150.

$\Xi = (3860 + 0,150 \times 45,2) - (3240 + 0,150 \times 45,2) \times 30000 = 18\,600$ тыс. тенге

5.4 Разработка оптимальных технологических параметров сушки и обжига керамического кирпича в заводских условиях

В качестве основного глинистого компонента для изготовления керамических масс использовался лессовидный суглинок Чаганского месторождения (Западно–Казахстанская область), а в качестве добавки применялся нефтешлам, поступающий от нефтедобывающей компании ТОО «Жайыкмунай» (г. Уральск). На основе этих сырьевых материалов были проведены испытания керамических масс.

После процесса сушки кирпичи сырцы подвергались обжигу в кольцевой печи, следуя разработанному заводскому режиму, при температуре 950–980°C (рисунок 88).



Рисунок 88 – Показания термопары заводской кольцевой печи

Шихтовый состав сырьевых смесей представлен в таблице 42.

На стадии подготовки конгломерата лессовидный суглинок подвергался измельчению в лабораторной шаровой мельнице до тех пор, пока частицы не проходили полностью через сито с размером ячеек 1,0 мм.

Добавление конгломерата на основе нефтешлама осуществлялось вручную непосредственно на ленточном конвейере во время подготовки лессовидного суглинка. Подготовка лессовидного суглинка проводилась согласно стандартной заводской технологии.

Таблица 42 – Оптимальный шихтовой состав композиций

№ состава	Содержание компонентов, %	
	суглинок	КСН
1	80,0	20,0
2	85,0	15,0
3	90,0	10,0

Сырьевая смесь подавалась на ленточные транспортёры, после чего перемещалась в двухвальный смеситель для совместного тщательного перемешивания компонентов. Добавка в виде воды количестве 22–24% от массы сухих компонентов поступала в смеситель параллельно с сырьём. Прессование образцов проводилось с использованием вакуумного пресса для пластического формования. Отформованные кирпичи сырцы затем подвергались сушке в туннельных сушилках завода до достижения остаточной влажности 5–7 %.

Для определения продолжительности процесса сушки керамических кирпичей, изготовленных по разработанным оптимальным составам, каждые 2 часа проводился отбор проб для контроля остаточной влажности отформованных сырцов. Общая продолжительность сушки до достижения остаточной влажности 5–7 % составила 28 часов, что на 8 часов меньше по сравнению с традиционными технологиями, где этот процесс в заводских условиях занимает 36 часов.

После завершения сушки кирпичи сырцы подвергались обжигу в кольцевой печи, следуя разработанному заводскому режиму при температуре 950–980°C. Однако было скорректировано время выдержки при максимальной температуре обжига, которое было уменьшено. Эти изменения обоснованы процессом горения нефтешлама, который входит в состав органоминеральной конгломератной смеси.

Общая продолжительность обжига для изделий, изготовленных по разработанным составам, составила 30–32 часа, в то время как традиционный процесс обжига в заводских условиях длится 48 часов. Таким образом, сокращение времени обжига составило 16–18 часов.

Схема технологического процесса производства стеновых керамических изделий из суглинка с добавлением органоминерального конгломерата на основе нефтешлама (рисунки 89).

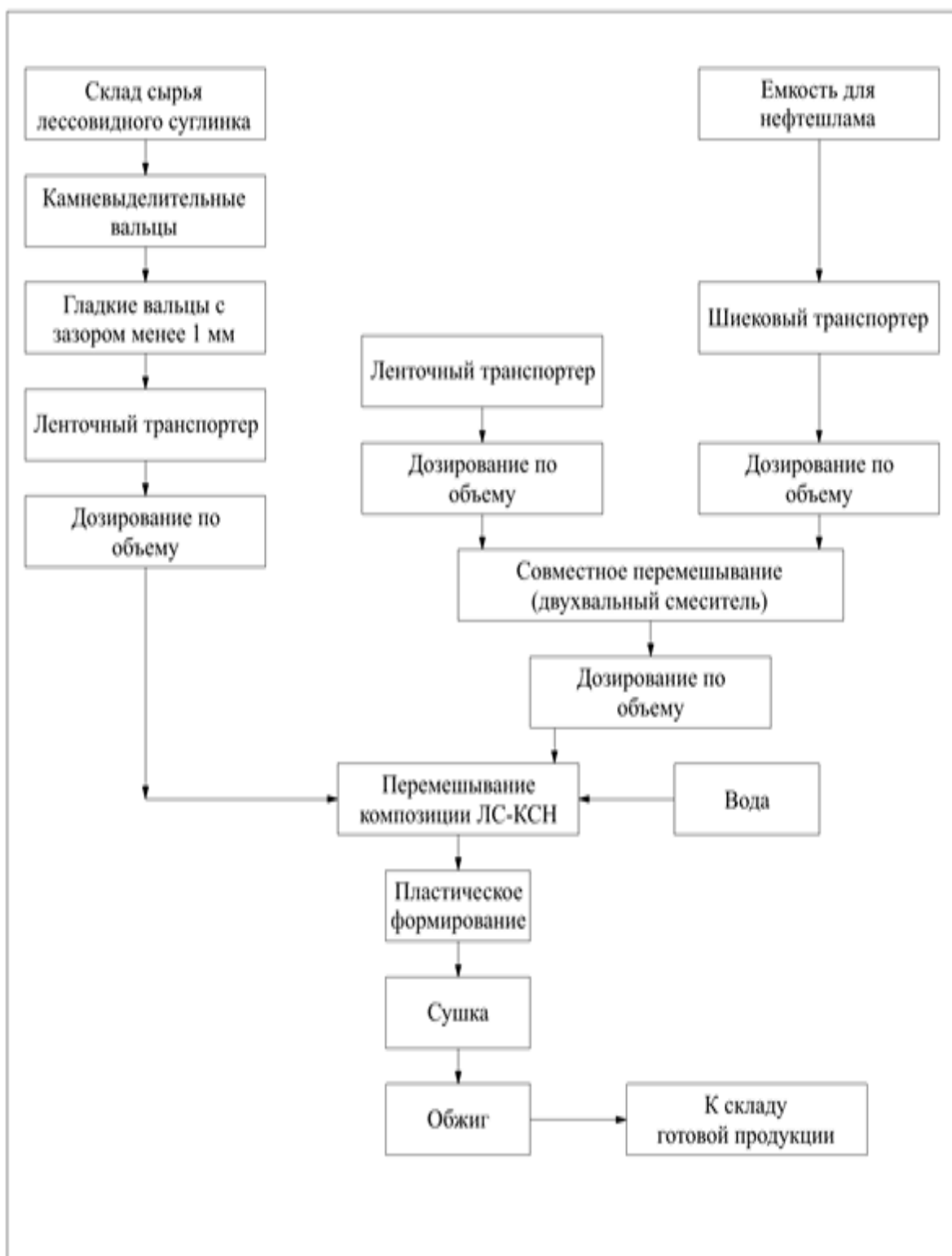


Рисунок 89 – Схема технологического процесса производства стеновых керамических изделий композиции «ЛС–КСН»

Выпущены опытно–промышленные партии кирпича в объёме 10 тысяч штук для каждого из разработанных составов.

Обожжённые изделия отличались чёткой геометрией, ровной поверхностью и характерной цветовой окраской, соответствующей технологическим параметрам обжига.

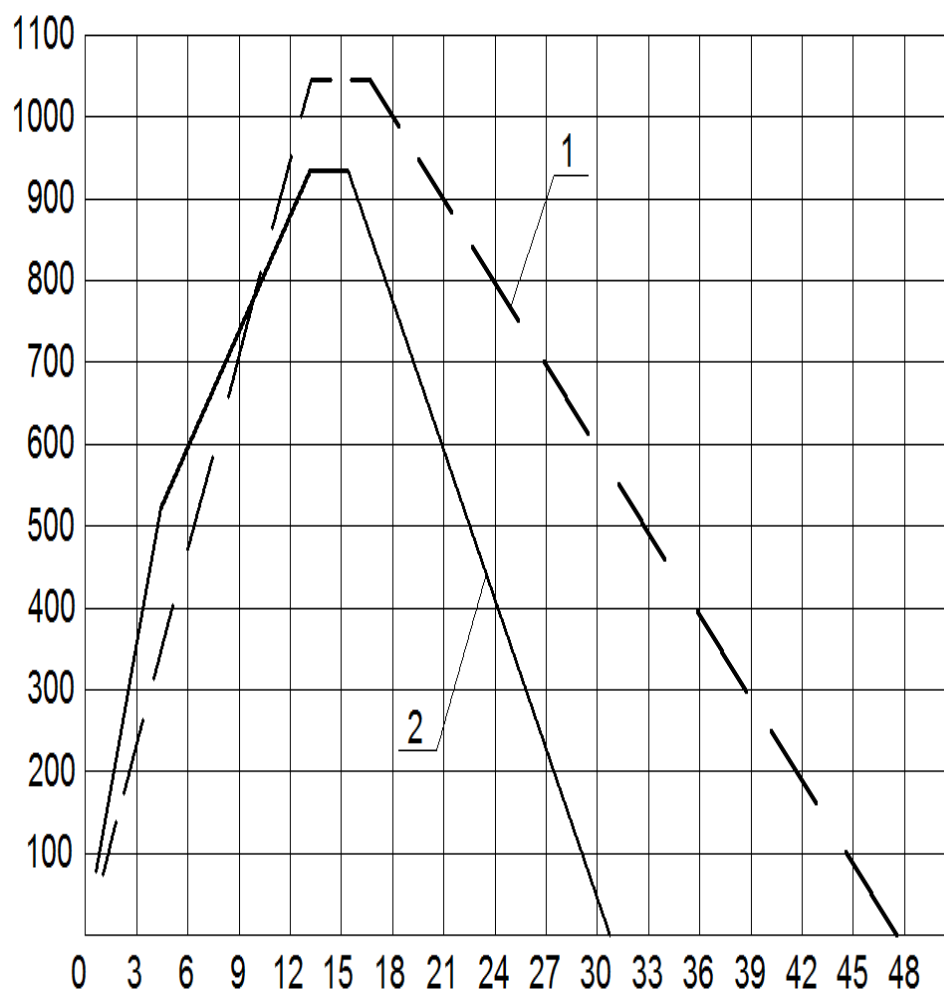
Сравнительные физико–механические характеристики изготовленных образцов и серийной заводской продукции приведены в таблице 43.

Таблица 43 –Сравнительные характеристики заводского кирпича и изделий из разработанного керамического состава с энерговыведяющим компонентом на основе нефтешламовой конгломератной смеси

п/п	Показатели	Ед.из м.	Кирпич по заводской технологии	Конгломератная смесь на основе нефтешлама в композиции «ЛС–КСН»
1.	Температура при обжиге	° С	950–980	950–980
2.	Показатели предела прочности при сжатии	МПа	7,5–10	9–10
3.	Предел прочности при изгибе	МПа	2,2	2,5–3,0
4.	Морозостойкость	циклы	15	Более 20
5.	Средняя плотность	кг/м ³	1800–1850	1750–1760
6.	Масса кирпича	кг	4,3	3,6
7.	Коэффициент водостойкости	—	0,7	082
8.	Водопоглощение	%	13–14	14–14,5
9.	Расход топлива на 1000 шт кирпича	кг	150	110–115

Максимальная температура обжига кирпичей, изготовленных по разработанным составам, составила 950°С. Общая продолжительность обжига при этом сократилась до 30–32 часов, в то время как по традиционной заводской технологии обжиг длится 48 часов (рисунок 90).

Существенное снижение наблюдается и в расходе топлива: при стандартной технологии производства керамического кирпича расход составляет около 150кг на 1000 штук изделий, тогда как при использовании разработанных составов и технологии данный показатель снизился до 110–115 кг на 1000 штук.



1 – стандартный заводской режим, 2 – оптимизированный режим по разработанной технологии с использованием композиции суглинков – органоминеральная конгломератная смесь на основе нефтешлама

Рисунок 90 – Сравнение температурных режимов обжига

В рамках опытно–промышленных испытаний были выпущены промышленные партии кирпича объёмом по 10 000 штук для каждого варианта состава. Обожжённые изделия отличались чёткой формой, гладкой поверхностью и стабильной цветовой гаммой.

На основании проведённых испытаний установлено, что предлагаемая технология производства керамического кирпича, основанная на использовании органоминеральной конгломератной смеси с нефтешламом, обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с действующей заводской технологией:

увеличение предела прочности при сжатии до 12,5–13,8 МПа, при изгибе — до 2,5–3,0 МПа;

повышение морозостойкости изделий до более, чем 20 циклов;

снижение средней плотности кирпича до 1750–1760 кг/м³;

уменьшение массы полнотелого кирпича с 4,3 до 3,6кг;
улучшение водостойкости с 0,7 до 0,85.

Согласно результатам сравнительного анализа, изделия, изготовленные с применением разработанных составов, демонстрируют высокие прочностные характеристики. В соответствии с требованиями ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камни керамические. Общие технические условия», марочная прочность опытных образцов соответствует маркам М100 и М125.

Разработанные технологические решения и составы керамических композиций с энергосберегающим компонентом на основе нефтешламовой конгломератной смеси рекомендованы к промышленному внедрению. Их применение позволяет значительно повысить прочность и морозостойкость продукции, сократить продолжительность обжига и обеспечить экономию топливных ресурсов на 25–30 %.

5.5 Техно–экономическая эффективность технологии производства стеновой керамики на основе композиции «лессовидный суглинок–конгломератная смесь с нефтешламом»

Цеховые и общезаводские затраты учтены на основании фактических данных действующего предприятия.

Произведён расчёт себестоимости 1000 штук кирпича, изготовленного с применением разработанных керамических составов.

Расчет сырьевых материалов

1000 штук кирпичей составляет 2,8 м³ или 3,9т.

Стоимость 1т лессовидного суглинка, тг – 280

Стоимость 1т нефтешлама, тг – 100

Стоимость на получение 1000 шт готового кирпича составит: в тг

ЛС	3,705	280	103
----	-------	-----	-----

Н	0,195	100	19,5
---	-------	-----	------

ИТОГО: 1056,5тг

Нормативный расход условного топлива при производстве 1000 штук керамического кирпича составляет 170,5 м³. При использовании разработанных керамических составов наблюдается снижение расхода топлива приблизительно на 30 %, что достигается за счёт исключения стадии сушки и сокращения времени обжига.

Таким образом, расход топлива на 1000 штук кирпича по новой технологии =112 м³.

Согласно данным предприятия, стоимость 1 м³ условного топлива составляет 26,5 тг.

Показатели стоимости топлива для получения 1000 шт. кирпича показаны в таблице 44.

Таблица 44 – Стоимость топлива для получения 1000 шт. кирпича

Наименование	По заводу			По предлагаемым составам		
	норма расхода на 1 м ³	цена, тенге	сумма	норма расхода на 1 т	цена, тенге	сумма
Расход на технологические цели	170,5м ³	26,5	4518	120м ³	26,5	3180

Расчет электроэнергии

Нормативный расход электроэнергии при производстве 1000 штук кирпича составляет 71,5 кВт·ч (таблица 45).

При реализации производства по предложенной технологической схеме наблюдается увеличение потребления электроэнергии примерно на 4 %. Это связано с дополнительной нагрузкой на электродвигатели оборудования, в частности — сушильного барабана и смесительных установок.

Таблица 45 – Показатели стоимости электрической энергии на производство 1000 шт. кирпича.

Наименование	По заводу			По иссл. составам		
	нормы расходов кВтч.	цена, тенге	сумма	нормы расходов, кВтч.	цена, тенге	сумма
Электроэнергия	71,6	28	2002	5	28	2086

Расчет ФОТ

Численность рабочих основного производства определена с учётом посменной расстановки персонала. Среднегодовой уровень заработной платы одного рабочего составляет 390000 тенге.

Годовой фонд оплаты труда рассчитан на основе количества работников основного производства и размера их средней годовой заработной платы. Расчётные данные приведены в таблице 46.

Таблица 46 – Расчет ФОТ

Наименование	По составу завода				По предлагаемым составам			
	Кол-во чел-век	СГ. з/плата. тыс. тг.	СС з/плата тыс.тг	ГФ млн. тг.	Кол-во чел.	СГ. з/плата. тыс. тг.	СС з/плата тыс. тг.	ГФ млн. тг.
Рабочие на получение 1000 шт. кирпичей	43	378	1035,6	16,25	45	390	1035,6	17,55

Начисления на заработную плату

Размер начислений на заработную плату принят в объёме 12 %.

При расчётной базе 1035,6 тыс. тенге сумма начислений составляет 124,3 тыс. тенге.

Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования. Затраты для проведения текущего ремонта (50 % от суммы АО).

Общие затраты на содержание и эксплуатацию оборудования составляют 2 % от его балансовой стоимости. Подробные данные приведены в таблице 47.

Таблица 47 – Расчет расходов по с/э оборудования 1000 штук кирпича

Наименование расходов	Ед.изм	Стоимость
Аморт.отчисления	тенге	1204100
Текущий ремонт	тенге	602050
Затраты на с/э	тенге	161660
ИТОГО		1 967 810

На 1000 штук кирпича 1967,8тенге

Калькуляция себестоимости на производство 1000 штук кирпича на основе разработанных составов показана в таблице 48.

Таблица 48 – Расчет себестоимости производства 1000 штук кирпича

Наименование статей затрат	Единица измерения	Себестоимость по заводу	Себестоимость кирпича на основе разработанных составов керамических композиций
Сырье	тг	1037	1037
1	2	3	4

1	2	3	4
ВМ	тг	–	19,5
Топливо	тг	4518	3180
Электроэнергия	тг	2002	2086
Зарплата	тг	1035,6	1035,6
Начисление на зарплату	тг	124,3	124,3
Расходы по содержанию и эксплуатацию оборудования	тг	1967,8	1967,81
Расходы в цеху	тг	312	312
Общезаводские затраты	тг	194	194
Полная себестоимость	тг	8965,5	8300

Расчеты основных технико–экономических показателей разработанных составов показаны в таблице 48.

Таблица 48 – Основные технико–экономические показатели

Наименование	Ед.изм.	Показатели по заводу	Показатели предлагаемой технологии
1	2	3	4
Мощность завода	т.шт	20000	20000
Себестоимость сырья	тенге	1092	1056,5
Расход топлива на производство 1000 шт. кирпича	м ³	159,5 м ³	112 м ³
Расходы электроэнергии на производство 1000 шт. кирпича	квт.ч.	71,8	74,8
Кол–во рабочих	чел.	43	45
Капитальные вложения, всего	тыс.тг.	920	920
Показатели уд. кап.вложения на производство 1000 шт.кирпича	тенге	35,6	35,6

1	2	3	4
График работы: в год в сутки в смену	дн. смен час.	270 3 8	270 3 8
Себестоимость на производство 1000 штук кирпича	тенге	19050	18000
Общая себестоимость	тыс.тг.	181164,6	165990
Стоимость 1000 штук кирпича	тенге	60000	55 000
ЭЭ	тыс.тг.		21000
АВыгода завода	тыс.тг.		740
Показатели по окупаемости кап.вложений	год		1,3

Прибыль завода

1. Стоимость 1000штук кирпича 38000 тенге
2. Себестоимость разработанного кирпича 18 тенге
3. Годовой выпуск продукции – 20млн. штук кирпича.
4. Прибыль завода

$$\Pi = (55\,000 - 18000) \times 20000 = 740,0 \text{ тыс.тенге.}$$

Окупаемость капитальных вложений

$$\text{Окв} = 920/740 = 1,3 \text{ года}$$

Расчет по экономическому эффекту

1. Себестоимость 1000 штук кирпича по заводу –19050
2. Себестоимость 1000штук разработанного состава кирпича –18000
3. Показатели вложений на производство
1000 штук кирпича – 32 ,94

4. Мощностьпо заводу – 20млн.штук

5. Экономический эффект =0,15:

По формуле $\Xi = (3_1 - 3_2) \cdot A$ или

$$\Xi = (C_1 + EK_1) - (C_2 + EK_2) \cdot A$$

$$\Xi = (19050 + 0,15 \cdot 35,6) - (18000 + 0,15 \cdot 35,6) \cdot 20000 = 21000 \text{ тыс. тенге}$$

Выводы по главе 5.

1. Разработанные составы и технология производства керамзита прошли апробацию и были внедрены в производственный процесс на базе действующего керамзитового цеха ТОО «Стройкомбинат» (г. Уральск).

2. Эколого–экономическая эффективность достигнута за счёт использования в производстве местных невоспучивающихся суглинков, нефтешламов, мелкозернистого песка, а также благодаря снижению затрат на энергоносители.

3. Полученные материалы – керамзит, изготовленный по разработанным составам, соответствует установленным требованиям нормативной документации по показателям радиоактивности и физико–механическим свойствам.

4. Разработанные составы и способ получения керамического кирпича апробированы и внедрены на базе действующего кирпичного заводов ТОО «Асаркурылыс».

5. Экономический и экологический эффект получен благодаря вовлечению в производство низкосортных суглинков, нефтешламов и сокращению затрат на энергоносители.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ отечественных и зарубежных литературных источников показал, что ученые активно проводят научно–исследовательские работы по использованию отходов различных производств, таких, как осадок сточных вод, нефтесодержащих отходов, золы, песчаного ила и т.д. При этом полученный продукт имеет улучшенные физико–механические характеристики, соответствуют нормативным документам.

2. Установлено современное состояние актуальных направлений в исследованиях, касающихся повышения энергоэффективности технологий производства строительных материалов. При этом особую актуальность в настоящее время приобретает производство строительных материалов, в технологическом процессе которых обязательно требуется высокотемпературный обжиг (производство керамического кирпича, керамзита, цемента, извести и т.п.).

3. Установлена особая актуальность исследования по использованию нефтешламов, как энерговыделяемого и модифицирующего компонента в технологии производства керамзита и керамического кирпича на основе лессовидных суглинков.

4. По итогам результатов исследования характеристик сырьевых материалов предлагают составы на основе суглинков для создания ресурсо– и энергоэффективной технологии керамзита с использованием конгломератных смесей с нефтешламом в системах «ЛС–Н» и «МП–Н» для получения керамзита. Также предложены составы для создания технологии качественной и энергоэффективной стеновой керамики с использованием органоминеральной конгломератной смеси с нефтешламом.

5. Получены составы различных композиций, учитывая все факторы в системах «ЛС–Н» и «МП–Н», обладающие улучшенными формовочными, теплоизоляционными свойствами керамзита. Получен патент на полезную модель.

6. Установлено, что добавка конгломератной сыпучей смеси в керамические массы в рассматриваемых системах при производстве керамзита, улучшает формовочные свойства благодаря содержанию в нефтешламе нефтено–парафиновых и смолистых составляющих, позволяющих облегчить работу смесителей и получить гранулы без трещин.

7. Установлены следующие закономерности, происходящие при термообработке изделий:

- процесс горения нефтешлама, содержащего органические вещества, внутри обжигаемого материала, способствует снижению подаваемой энергии извне;

- за счет внутреннего горения нефтешлама сокращается продолжительность обжига, сформованные гранулы обжигаются при более

низкой температуре, чем гранулы, обожженные по традиционной технологии керамзита;

– составляющие в глинистой породе и нефтешламе, такие как железистые оксиды и органические вещества способствовали вспучиванию обжигаемой массы и получению прочной внешней оболочки и равномерному распределению пор в материале.

8. Доказана практическая возможность использования нефтешлама в технологии керамических материалов. Получены составы композиций, учитывая все факторы в системах «ЛС–Н» и «МП–Н», обладающие улучшенными формовочными, сушильными и др. свойствами кирпичей. Получен инновационный патент РК № 29517 от 23.01.2015.

10. Установлена, что конгломератная смесь с добавлением нефтяных шламов в массы, служит также в качестве поверхностно активных веществ (ПАВ) благодаря содержанию органических веществ, которые способствовали улучшению показателей готовой продукции.

11. Установлены следующие закономерности происходящих процессов притермообработке кирпича–сырца:

– процесс горения нефтешлама способствует лучшей интенсификации процесса спекания изделий;

– сокращение продолжительности обжига за счет составляющих нефтешлама;

– снижение энергетических показателей при снижении температуры при обжиге;

– образуются рефлексы, которые образуются при взаимодействии суглинка и органики нефтешламов, получается прочная структура готового продукта.

Структура черепка получается как армированный спеченный каркас, состоящий из стекло–и кристаллической фазы с пористой микроструктурой, что способствует снижению температуры обжига, уменьшению плотности, теплопроводности, прочность остается высокой.

12. Исследованы структурные изменения в разработанных керамических композициях, подтверждающие возможность варьирования реологических свойств по критерию формования изделий пластическим способом.

13. Предложены составы, способы получения керамического кирпича апробированы и внедрены на базе действующего кирпичного заводов ТОО «Асаркурылыс». Технология получения керамзита апробирована и внедрена на базе керамзитового цеха ТОО «Стройкомбинат», г. Уральск.

14. Экономический и экологический эффект получен благодаря вовлечению в производство низкосортных суглинков, нефтешламов и сокращению затрат на энергоносители.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монтаев, С.А. Разработка технологии керамзита на основе глинистого сырья Западного Казахстана / С.А. Монтаев, С.М. Жарылгапов, А.Т. Таскалиев // Наука и образование. – 2011. – № 4. – С. 69–71.
2. Мизюряев, С.А. Расширение номенклатуры искусственных пористых заполнителей / С.А. Мизюряев [и др.] // Строительные материалы. – 2011. – С. 12–13.
3. Новые возможности энергоэффективного керамзитобетона // Стройматериалы. – 2013. – №34.
4. Онацкий С.П. Производство керамзита. – 3 перераб. и дополн. издание. – М.: Стройиздат, год. – 312 с.
5. Монтаев, С.А. Исследование возможности получения легких и пористых гранулированных материалов на основе неvspучивающихся лессовидных суглинков / С.А. Монтаев, Н.Б.Адилова, А.Б. Шингужиева, Р.С. Казжанов // Materials of XI Research and practice conference. Proceeding of science – 2015. – UK: Sheffield, 2015. – P. 64–68.
6. Новые технологии переработки нефтяных отходов и рекультивации загрязненных земель // 7–8 Материалы международного форума Нефтяной шлам: как превратить отходы в доходы. – М., 2012.
7. Пурханатдинов, А. П. Исследование и анализ местного глинистого сырья для производства керамзита / А. П. Пурханатдинов и [др.] // Universum: технические науки. – 2025. – Т. 3. – №. 1 (130). – С. 20–25.
8. Любавина, Н.С. Изменение положения факела горелки для обеспечения максимальной энергоэффективности печи обжига керамзита / Н.С. Любавина, А.С. Фадеев // В сборнике: Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. Сборник статей, электронный ресурс. под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара. – 2018. – С. 418–421.
9. Павлова, Е.Е. Совершенствование методики учета затрат на производство кирпичной продукции (На примере АО "Завод материалов и керамзита") / Е.Е. Павлова, А.М. Козлова, Ю.Ю. Юркевич // В сборнике: Время науки. Сборник научных трудов I Международной научно–практической конференции. – 2019. – С. 229–234.
10. Полубояров, В.А. Использование техногенных отходов для изготовления керамзита / В.А. Полубояров, З.А. Коротаева, Е.В. Волоскова, А.А. Жданок, В.В. Булгаков, И.А. Паули // В сборнике: Физико–химические аспекты получения материалов из природного и техногенного сырья, отв. ред. С. А. Шахов. – 2014. – С. 67–75.
11. Бобков, О.В. Использование осадка после сооружений водоподготовки в качестве добавок при производстве керамзита / О.В.Бобков, Я.М. Клявлиня // В сборнике: Вторые Полаковские чтения. – 2017. – С. 94–96.

12. Андрюкова, М.В. Исследование возможности использования нефте- и железосодержащих отходов для приготовления вспучивающей добавки в производстве керамзита / М.В.Андрюкова, Н.С. Яманина // В сборнике: Семьдесят вторая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. Сборник материалов конференции. Ярославский государственный технический университет. – 2019. – С. 392–396.

13. Чернышов, К.Ю. Совершенствование производства керамзита с помощью зол и отходов промышленности / К.Ю. Чернышов, А.Н.Тарасов / В сборнике: Информационные технологии в обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений. Материалы 17-ой Международной научно-практической конференции. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. – 2017. – С. 101–103.

14. Narmanova, R. Design Solution On Keramzit Production and Justification On Its Breakeven Points / R. Narmanova et [al.] // Innovative Construction and Petrochemical Technologies. – 2025. – Т. 2. – №. 1. – С. 1–9.DOI: <https://doi.org/10.71285/icpt.v2i1.8>.

15. Самохвалов, О.В. Формирование программной траектории в задающем устройстве многомерной системы автоматического управления технологическим процессом обжига керамзита / О.В. Самохвалов // Сборник статей 78-ой всероссийской научно-технической конференции. Под редакцией М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара – 2021. – С. 989–997.

16. Яновская, А.В. Особенности экспертизы качества керамзита / А.В.Яновская, Х.В. Гереханов // В сборнике: Междисциплинарность науки как фактор инновационного развития. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 119–120.

17. Бишимбаев, В.К. Влияние битумных эмульсий на улучшение свойств керамзита / В.К. Бишимбаев, А.У. Исаева, Т.У. Исхаков, Б. Сарсенбаев, Г.Р. Сауганова // В сборнике: Наукоемкие технологии и инновации. Электронный сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. –2019. – С. 9–13.

18. Jiannan, Pei. Preparation and characterization of ultra-lightweight ceramsite using non-expanded clay and waste sawdust / Pei Jiannan, Pan Xiaolin, Tu Ganfeng// Construction and Building Materials. – Volume 346. – 5 September 2022. – 128410. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128410>.

19. Ahmed, T. Omar. Behaviour of expanded slate semi-lightweight SCC beams with improved cracking performance and shear capacity / Ahmed T. Omar, Assem A.A. Hassan // Structures Volume 32. – August 2021. – PP.1577–1588. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.03.108>.

20. Fazal, Hussain. Study of physical and mechanical behavior of artificial lightweight aggregate made of Pakistani clays / Hussain Fazal, Rehman Fazal, Rao Arsalan Khushnood, Shayan Ali Khan, AmeerHamza// Construction and Building Materials. –Volume 378. –16 May 2023. – 131103. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131103>.

21. Peiyao, Liu. Lightweight expanded aggregates from the mixture of waste automotive plastics and clay /LiuPeiyao, Farzana Rifat, Rajarao Ravindra, Sahajwalla Veena// Construction and Building Materials. – Volume 145. – 1 August 2017. –PP. 283–91.<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.009>.

22. Jiannan, Pei. Preparation and characterization of ultra–lightweight ceramsite using non–expanded clay and waste sawdust [Электронный ресурс]. Режим доступа URL:[https:// www.sciencedirect.com /science/article /abs/pii/S0950061822020700](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061822020700) – 2022.

23. Fariba, Pishdadi–Aghdarreh. Acid–base treatment of lightweight expanded clay aggregate (LECA) for removal of paraquat from aqueous media [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: [https://www.sciencedirect.com /science/article/abs/pii/S2213343723011442](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343723011442)– 2023.

24. Федоренко, А.Ю., Сорочкина О.Ю. Исследование методов контроля прочности керамзитобетонных блоков [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metodov-kontrolya-prochnosti-keramzitobetonnyh-blokov>. – 2020.

25 Shayan, Ali Khan. A scientometric review of the synthesis and application of expanded clay aggregate in cementitious composites [Электронный ресурс]. URL: [https://www.sciencedirect.com /science/article /abs/pii/S0950061824017951](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061824017951).

26. Bekhruzjon, O. Textural characteristics of zinc acetate catalyst from ceramzite prepared for the synthesis of vinyl acetate from acetylene [Электронныйресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/textural-characteristics-of-zinc-acetate-catalyst-from-ceramzite-prepared-for-the-synthesis-of-vinyl-acetate-from-acetylene>.

27. Картушина, Ю.Н. Звукоизоляционные свойства керамзитового заполнителя [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-prochnostnyh-harakteristik-keramzita-poluchennogo-s-ispolzovaniem-otvodov-ochistnyh-sooruzheniy-i-drevesnougolnogo>.

28. Шарифова, М.Т. Промышленные отходы — источники получения керамзита [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennye-othodyistochniki-polucheniya-keramzita>.

29. Бойжанов, И.Р. Исследование фазовых превращений и формирования микроструктуры керамзитовых материалов на основе гурленской глины / И.Р. Бойжанов, А.М. Эминов, Р.Г. Алламов // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-fazovyh-prevrascheniy-i-formirovaniya-mikrostruktury-keramzitovyh-materialov-na-osnove-gurlenskoj-gliny> – 2022.

30. Аристов, Е.А. Влияние добавки феррохром лигносульфоната в глинистое сырье на пылеобразование в печи обжига керамзитового гравия / Е.А. Аристов, Г.А. Зимакова, В.А. Солонина, М.П. Зелиг, С.В. Ильясова // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-dobavki-ferrohromlignosulfonata-v-glinistoe-syrie-na-pyleobrazovanie-v-pechi-obzhiga-keramzitovogo-graviya>– 2020 г.

31. Картушина, Ю.Н. Применение топливных зол и отходов растениеводства в качестве вспомогательных добавок при производстве керамзитового гравия / Ю.Н. Картушина, Н.В. Грачева, В.Н. Храмова, А.А. Короткова, А.А. Амосова // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-toplivnyh-zol-i-othodov-rastenievodstva-v-kachestve-vspomogatelnyh-dobavok-pri-proizvodstve-keramzitovogo-graviya>– 2022.

32. Джаббарова, Н.Э. Изучение влияния керамзитовой пыли на свойства гипсовяжущих материалов / Н.Э. Джаббарова // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-vliyaniya-keramzitovoy-pyli-na-svoystva-gipsovovvazhuschih-materialov>– 2021.

33. Махортов, Д.С. Вяжущие композиции из цемента и керамзитовой пыли / Д.С. Махортов, Л.Х. Загороднюк, Н.А. Шаповалов, Д.А. Сумской // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vyazhuschie-kompozitsii-iz-tsementa-i-keramzitovoy-pyli> – 2022 г.

34. Рахимов Р. З. Керамзитовая пыль как активная добавка в минеральные вяжущие – состав и пуццолановые свойства / Р. З. Рахимов, М. И. Халиуллин, А. Р. Гайфуллин, О.В. Стоянов // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/keramzitovaya-pyl-kak-aktivnaya-dobavka-v-mineralnye-vyazhuschie-sostav-i-puttsolanovye-svoystva>– 2013.

35. Jian–Xin, Lu. Development of high performance lightweight concrete using ultra high performance cementitious composite and different lightweight aggregates / Lu Jian–Xin, Shen Peiliang, Ali Hafiz Asad, Poon Chi Sun //Cement Concrete Comp. – 2021. – P. 104277.

36. Elías,Roces. Lightweight expanded clay aggregate properties based on laboratory testing / Rocés Elías, Muñoz–Menéndez Mauro, González Galindo Jesús, Estaire José //Construction and Building Materials. – Volume 313. – 27 December 2021. – 125486.

37. Mohammad, J. Alshannag. Flexural performance and ductility of RC beams made using natural LWA /J. Mohammad Alshannag, Charif Abdulhamid, S.Alqarni Ali, NasserSalman//Case Studies in Construction Materials.–Volume 16. – June 2022. – e00942.

38. Kwek, S.Y.Development of sintered aggregate derived from POFA and silt for lightweight concrete / S.Y.Kwek, H. Awang, C.B.Cheah, H. Mohamad //Journal of Building Engineering.– Tom 4915. – May 2022.

39. Burbano–Garcia, Claudia. Utilization of waste engine oil for expanded clay aggregate production and assessment of its influence on lightweight

concrete properties / Claudia Burbano–Garcia, Ana Hurtado, Yimmy Fernando Silva, Silvio Delvasto, Gerardo Araya–Letelier // Construction and Building Materials. – Tom 27. – 31 March 2021. – no 121677. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2020.121677.

40. Cáceres, J.R. A review about the use of industrial by-products in the lightweight aggregates production of expanded clay / J.R. Cáceres, J.P. Rojas, J. Sánchez // Journal of Physics: Conference Series. – Tom 1388. – Выпуск 119. – November 2019. – no 1201.

41. Ch. Raupov, G. Malikov. Determination of physical and structural–mechanical characteristics of expanded clay concrete / Ch. Raupov, G. Malikov // Science and innovation [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/determination-of-physical-and-structural-mechanical-characteristics-of-expanded-clay-concrete>. – 2022.

42. Usanova, K. Heat release and thermal conductivity of expanded–clay concrete for 3d printer [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/heat-release-and-thermal-conductivity-of-expanded-clay-concrete-for-3d-printer>. – 2021.

43. M. Yuliya R. Valeryia. Size effect of cube specimen on strength of expanded clay fiber–reinforced concrete // Magazine of Civil Engineering [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/size-effect-of-cube-specimen-on-strength-of-expanded-clay-fiber-reinforced-concrete>. – 2022.

44. Ржевуцкая, В.А. Относительные деформации полной усадки керамзитобетона [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otnositelnye-deformatsii-polnoy-usadki-keramzitobetona>. – 2021.

45. Хаджишалапов, Г.Н. Исследование влияния электроразогрева керамзитобетонной смеси на структуру и свойства легких керамзитобетонов, подвергнутых воздействию высоких температур [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vliyaniya-elektrozogreva-keramzitobetonnoy-smesi-na-strukturu-i-svoystva-legkih-keramzitobetonov-podverzhennyh>. – 2021.

46. Соколов, П.Э. Повышение эффективности керамзитобетона при помощи мелкодисперсных добавок [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-effektivnosti-keramzitobetona-pri-pomoschi-melkodispersnyh-dobavok>. – 2021 г.

47. Сандан, А.С. Технология бетонирования при устройстве ограждающих конструкций путем внесения тепла в керамзитопенобетонную смесь / А.С. Сандан // Инновации и инвестиции. – № 4. – 2019. – С 331–334.

48. Синянский И.А., Шипков О.И., Орлов Е.В. Использование легкого керамзитобетона для изготовления ограждений наружных стен [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-legkogo-keramzitobetona-dlya-izgotovleniya-ograzhdeniy-naruzhnyh-sten>.

49. Шеремет, А.А. Исследование физико–механических свойств крупнопористого керамзитобетона для трехслойного 3D–аддитивного строительства [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-fiziko-mehanicheskikh-svoystv-krupnoporistogo-keramzitobetona-dlya-trehsloynogo-3d-additivnogo-stroitelstva>.

50. Соколов, П.Э. Оценка эффективности применения суперпластификаторов для повышения эксплуатационных свойств керамзитобетонных [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-effektivnosti-primeneniya-superplastifikatorov-dlya-povysheniya-ekspluatatsionnyh-svoystv-keramzitobetonov>.

51. Алимуратов, Ш.А. Влияние вакуумной обработки и технологических факторов на прочность жаростойкого керамзитобетона на композиционном вяжущем [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vakuumnoy-obrabotki-i-tehnologicheskikh-faktorov-na-prochnost-zharostoykogo-keramzitobetona-na-ompozitsionnom-vyazhushchem>.

52. Несветаев, Г.В. Деформационные свойства самоуплотняющегося керамзитобетона [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/deformatsionnye-svoystva-samouplotnyayuschegosya-keramzitobetona/viewer>.

53. Горин, В. М. Стеновые керамзитобетонные конструкции – перспективный материал для индустриального домостроения [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/stenovye-keramzitobetonnye-konstruktsii-perspektivnyy-material-dlya-industrialnogo-domostroeniya>. – 2011 г.

54. Бондарь, В.В. Конструкционный керамзитобетон в строительстве: опыт и перспективы применения [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/konstruktsionnyy-keramzitobeton-v-stroitelstve-opyt-i-perspektivy-primeneniya>.

55. Маматова, Х.А. Влияние керамзита на свойства пенобетона. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-keramzita-na-svoystva-penobetona>.

56. Galishnikova, V.V. Basalt fiber reinforced expanded clay concrete for building structures / V.V. Galishnikova, M. Kharun, D.D. Koroteev, P.C. Chiadighikaobi/[Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/basalt-fiber-reinforced-expanded-clay-concrete-for-building-structures>. – 2021.

57. Galishnikova, Vera V. Ductility and flexure of lightweight expanded clay basalt fiber reinforced concrete slab / Galishnikova Vera V. Heidari Alireza. Chiadighikaobi Paschal C. Muritala Adegoke Adedapo. Emiri Dafe Aniekan // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ductility-and-flexure-of-lightweight-expanded-clay-basalt-fiber-reinforced-concrete-slab>. – 2021 г.

58. Chiadighikaobi, Paschal C. Improving the compressive strength of lightweight cylindrical concrete column with basalt fiber reinforced polymer acting under imposed load. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/improving-the-compressive-strength-of-lightweight-cylindrical-concrete-column-with-basalt-fiber-reinforced-polymer-acting-under>. – 2020.

59. Yasin Onuralp Özkılıç, AlexeyN. Beskopylny, SergeyA. Stel'makh, Evgenii M. Shcherban, Levon R. Mailyan, Besarion Meskhi, Andrei Chernil'nik, Oxana Ananova, Ceyhun Aksoylu , Emrah Madenci. Lightweight expanded-clay fiber concrete with improved characteristics reinforced with short natural fibers // [Электронныйресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509523005478>. – 2023.

60. Mirzaev B.K. Mirzazhanov M.A. Properties of expanded clay concrete with complex polymer–mineral additives // [Электронныйресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/properties-of-expanded-clay-concrete-with-complex-polymer-mineral-additives>. – 2022.

61. Michala Hubertová, Rudolf Hela. Durability of lightweight expanded clay aggregate concrete. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813015099> – 2024.

62. OrkunUysal, İlbükeUslu, Can B. Aktaş,Byungik Chang. İsmail ÖzgürYaman. Physical and mechanical properties of lightweight expanded clay aggregate concrete [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/6/1871>.

63. Phuc–Lam Dao, Khac–Chien Thai, Duc–Tho Pham, Minh–Ngoc Vu, Tuan Nguyen–Sy, Quang–Vu Le, The–Truyen Tran. Influence of heat treatment on the structure and properties of ceramic heat–insulating composites based on phosphate bound expanded perlite–expanded clay [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352492823006086>.

64. J. Sobhani, S. Komijani, M. Shekarchi, F. Ghazban. Durability of concrete mixtures containing Iranian electric arc furnace slag (EAFS) aggregates and lightweight expanded clay aggregates (LECA) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061823023139>.

65. ElíasRoces–Alonso, Jose Estaire, Miriam Martín–Ruiz, Jesús González–Galindo. Experimental study on lightweight expanded clay at particle level: Breakage of isolated grains. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775523000392>.

66. Zhixing, Li, Wensu Chen, Zhiqiang Yin, Mizan Ahmed, Hong Hao. Lightweight ambient–cured geopolymer composite with expanded clay: quasi–static and dynamic properties. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061824009413>.

67. Bekhruzjon, O. Textural characteristics of zinc acetate catalyst from ceramzite prepared for the synthesis of vinyl acetate from acetylene // [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/textural-characteristics-of-zinc-acetate-catalyst-from-ceramzite-prepared-for-the-synthesis-of-vinyl-acetate-from-acetylene>.

68. Usanova, K. Barabanshchikov Yu.G. Pakrastins L. Akimov S.V. Belyaeva S.V. Heat release and thermal conductivity of expanded-clay concrete for 3d printer. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/heat-release-and-thermal-conductivity-of-expanded-clay-concrete-for-3d-printer>.

69. Phuong, Ha Hoang. Multilayer immobilizing of denitrifying *Bacillus* sp. and TiO₂-AgNPs on floating expanded clay carrier for co-treatment of nitrite and pathogens in aquaculture [Электронный ресурс]. URL: – <https://www.sciencedirect.com/org/science/article/pii/S2046206924001645>.

70. Okolnikova, G.E. Nagassa E.K. Habarurema A.C. Nyirenda Misheck. Sound insulation properties of expanded clay aggregate building construction. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sound-insulation-properties-of-expanded-clay-aggregate-building-construction>.

71. Hani Meree, Dongpo Wang, Shuaixing Yan, Mengjie Li, Shuai Lu, Marco Lovati, Fusheng Liu. Dynamic response of rock sheds to successive rockfall impacts using lightweight expanded clay aggregate (LECA) cushions: An experimental and numerical study. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734743X24001672>.

72. Azhani, Zukri, Ramli Nazir, Dayang Zulaika Abang Hasbollah, Amir Hamzah Mustapha. Lightweight Expanded Clay Aggregate (LECA) as replacement materials for geotechnical application. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1474706523000104>.

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

74. Мелешко, В.Ю. Возможность получения кирпича керамического рядового и лицевого различного цвета из сырья Брянской области / В.Ю. Мелешко, Н.В. Якимчук, В.А. Селенский. // Строительные материалы. – 2012. – С. 41–43.

75. Коренькова, С.Ф. Карбонатно-кремнеземистое техногенное сырье в материалах общестроительного назначения / С.Ф. Коренькова, Ю.В. Сидоренко // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 3. – С. 172–178.

76. Монтаев, С.А. Влияние содержания конгломератной смеси нефтяного шлама в системе нефтешлам–барханный песок на процесс вспучивания лессовидного суглинка / С.А. Монтаев, А.Б. Шингужиева // Вестник НИА РК. – 2017. – № 2(64). – С. 94–98.

77. Зубехин, А.П. Влияние окислительно–восстановительных условий обжига на фазовый состав железа и цвет керамического кирпича / А.П. Зубехин, Н.Д. Яценко, К.А. Веревкин // Строительные материалы. – 2011. – С.8–11.

78. Буравчук, Н.И. Использование техногенного сырья в технологии керамического кирпича / Н.И. Буравчук, О.В. Гурьянова // Инноватика и экспертиза. – 2020. Выпуск 2 (30) – С.160–169.

79. Лазарева, Т.Л. Исследование влияния отходов промышленности на свойства стеновой керамики / Т.Л.Лазарева, Е.С. Куликова // Технические науки – от теории к практике. – 2016. № 2(50). – С.135–140.

80. Салиева, М. Г. Исследование технологического процесса получения керамического кирпича / М. Г. Салиева // Известия ОшТУ. – 2017. №3. – С. 157–161.

81. Гуров, Н.Г. Подготовка керамической массы на основе закарбоначенного лессовидного суглинка / Н.Г. Гуров, А.А. Наумов, Н.Н. Иванов // Строительные материалы. – 2010. – С. 42–45.

82. Богдановский, А.Л. Применение глин месторождения БольшаяКарповка в производстве строительной керамики / А.Л. Богдановский, А.В. Пищик // Строительные материалы. – 2012. – С. 22–25.

83. Карасал, Б.К. Получение облицовочного кирпича на основе низкосортного суглинка и цеолитсодержащего песчаника / Б.К. Карасал, Л.Э. Куулар // Строительные материалы. – 2010. – С.38 – 39.

84. Котляр, В.Д. Классификационные признаки пресс–порошков на основе опок при управлении качеством производства керамического кирпича / В.Д. Котляр, Ю.В. Терехина // Строительные материалы. – 2012. – С. 74 – 75.

85. Богданов, А.Н. Модификация кирпичных суглинков многослойными углеродными нанотрубками для выпуска стеновой керамики / А.Н. Богданов, Л.А. Абдрахманова // Строительные материалы. – 2017. – С.14 – 17.

86. Ашмарин, Г.Д. Керамические экологически чистые теплоэффективные стены – реальность современного строительства / Г.Д. Ашмарин, В.А. Кондратенко, В.Г. Ласточкин, А.П. Павленко // Строительные материалы. – 2011. – С. 10–11.

87. Зубехин, А.П. Повышение качества керамического кирпича с применением основных сталеплавильных шлаков / А.П. Зубехин, И.Г. Довженко // Строительные материалы. – 2011. – С. 57–59.

88. Лазарева, Т.Л. Исследование влияния отходов промышленности на свойства стеновой керамики / Т.Л.Лазарева, Е.С. Куликова // Технические науки – от теории к практике. – 2016. – № 2(50). – С.135–140.

89. Салиева, М. Г. Исследование технологического процесса получения керамического кирпича / М. Г. Салиева // Известия ОшТУ. – 2017. – №3. – С. 157–161.
90. Шлегель, И.Ф. Новое поколение глиноперерабатывающих установок «Каскад» / И.Ф. Шлегель и [др.] // Строительные материалы. – 2008. – № 4. С. 34–37.
91. Логвинков, С. М. Прогнозирование и перспективы диссипативной структуры в керамических материалах / С. М. Логвинков, О. Н. Борисенко, Г. С. Попенко, А. А. Ивашура. // Вісник НТУ «ХП». – 2016. –С. 1–7.
92. Гурьева, В.А. Формирование фазового состава керамического камня с использованием высококальциевого бурового шлама / В.А. Гурьева, А.В. Дорошин, В.В. Дубинецкий, А.И. Кудяков // Строительные материалы. – 2018. – № 4. – С. 9–12.
93. Зубехин, А.П. Научные основы спекания в силикатных технологиях / А.П. Зубехин, С.П. Голованова, Е.А. Яценко, Н.Д. Яценко // Техника и технология силикатов. – Том 21. – Номер 2. – 2014. – С. 16–19.
94. Худякова, Л. И. Использование золошлаковых отходов тепловых электростанций / Л. И.Худякова, А. В.Залуцкий, П. Л. Палеев //XXI век. Техносферная безопасность. – 2019. – Т. 4. – №. 3 (15). – С. 375–391.
95. Панишев, Н. В. Перспективы утилизации хвостов углеобогащения и твердых отходов тепловых электростанций / Н. В.Панишев, В. А.Бигеев, Е. С. Галиулина //Теория и технология металлургического производства. – 2015. – №. 2 (17). – С. 69–77.
96. Чижов, Р. В. Алюмосиликатные бесклинкерные вяжущие и области их использования / Чижов, Р. В. и [др.] //Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГШухова. – 2016. – №. 4. – С. 6–10.
97. Dan, A. K. Prospective utilization of coal fly ash for making advanced materials / A. K. Dan et [al.] //Clean coal technologies: beneficiation, utilization, transport phenomena and prospective. – Cham: Springer International Publishing, 2021. – С. 511–531.
98. Fakhfakh, E. Effects of sand In addition on production of light fillers from Tunisia the smektitovykh of rich clay breeds / E.Fakhfakh, Century Hadzhadzhi, M. Medhioub// Applied Science Knitting. –Release 3 – 4.–2007. – P. 228 – 237.
99. Магид, А.Б. Технологические процессы переработки нефтешламов/ А.Б. Магид, А.В. Купцов, Р.А. Шайбаков // Вестник АТИНГ. – 2005. –№ 6–7 – С. 82–86.
100. Ахметов, А.Ф. Получение стойких топливных композиций с использованием нефтешлама / А.Ф. Ахметов, М.Н. Ахметшина, А.А. Десяткин, Ф.Ш. Хафизов // Нефтепереработка и нефтехимия с

отечественными технологиями в XXI век: Тез. докл. II конгресса нефтегазопромышленников России – Уфа: ИПНХП, 2000. – С. 164.

101. Ахметов, А.Ф. Создание агрегативно–устойчивых топливных смесей на основе тяжёлого котельного топлива и нефтешлама / А.Ф. Ахметов, М.Н. Ахметшина, А.А. Десяткин, Ф.Ш. Хафизов // Химические реактивы, реагенты и процессы малотоннажной химии: Тез.докл. XIII Междунар. науч.–практ. конф. – Уфа: Реак– тив, 2000. – с.124.

102. Ахметов, А.Ф. Разработка технологии утилизации нефтешлама / А.Ф. Ахметов и [др.] // Нефтяные топлива и экология: Тез.докл. республ. конф. мол. уч.– Уфа: УГНТУ, 2000. – с. 61.

103. Oreshkin, D. V. Disposal of drilling sludge in the production of building materials / D. V. Oreshkin, A. N. Chebotaev, V. A. Perfilov // Procedia engineering. – 2015. – Т. 111. – С. 607–611.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

«Утверждаю»

Директор ТОО «Стройкомбинат»

Нурбаев Б. А.

« 30 » 2016 г.



AKT

промышленного внедрения энергоэффективной технологии и состава сырьевых смесей для получения легкого заполнителя, разработанного Западно-Казахстанским аграрно-техническим университетом им. Жангир хана

Мы, от ТОО «Стройкомбината» инженер Осанов Д.Г., начальник керамзитового цеха Атакаев Б.А., от Западно-Казахстанского аграрно-технического университета им. Жангир хана, д.т.н., профессор С.А.Монтаев, старший научный сотрудник, магистр Таскалиев А.Т., к.т.н., декан машиностроительного факультета Шакешев Б.Т., декан политехнического факультета Бакушев А.А., к.т.н., заведующая кафедрой «Строительство и строительные материалы» Адилова Н.Б., PhD докторант Шингужиева А.Б., PhD докторант Рыскалиев М.Ж., магистрант Шакратова Г.Г. составили настоящий акт о том, что с 17 ноября по 30 ноября 2016 года проведены промышленные испытания для внедрения энергоэффективной технологии составов и сырьевых смесей, разработанных Западно-Казахстанским аграрно-техническим университетом им. Жангир хана.

В качестве сырьевых материалов были использованы лессовидный суглинок Чаганского месторождения ЗАО и конгломератная смесь на основе композиции лессовидный суглинок-нефтешлам. Для приготовления конгломератной смеси был использован нефтешлам нефтяной компании ТОО «Жайкмунай». Опытно-промышленные испытания проводили по двум составам.

Приготовление конгломерата на основе нефтешлама производилась в лабораторных условиях Западно-Казахстанского аграрно-технического университета им. Жангир хана и ТОО «ИННОТЕХПРОЕКТ».

Шихтовой состав сырьевых смесей представлен в таблице 1.

Таблица 1 Шихтовый состав сырьевых систем

№ состава	Содержание компонентов, масс %		
	Лессовидный суглинок	Конгломератная смесь на основе нефтешлама в композиции «лессовидный суглинок-нефтешлам»	Конгломератная смесь на основе нефтешлама в композиции «мелкозернистый песок-нефтешлам»
1	75	25	25
2	85	15	15

Добавка конгломерата на основе нефтешлама производилась вручную непосредственно над ленточным конвейером на стадии подготовки лессовидного суглинка.

Сырьевая смесь подавалась ленточными транспортерами в двухвальный смеситель для совместного перемешивания. Затем смесь подавалась в дырчатые вальцы, где формовались сырцовые гранулы в виде цилиндров. Сырцовые гранулы направлялись на сушку, а затем производили обжиг в печи.

Обжиг производился во вращающейся печи при температуре 1150-1200°C.

Обожженные гранулы охлаждались по заводской технологии.

Объем выпущенной опытно-промышленной партии керамзита составил 10 м³ по каждому составу.

Обожженный керамзит имел спекшуюся корочку, пористую структуру. Макроструктура керамзита показана на рисунке 1.

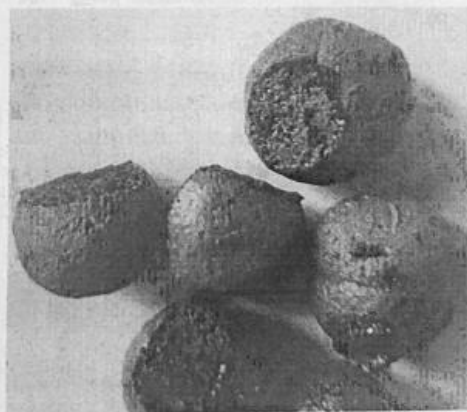


Рисунок 1 - Макроструктура керамзита в композиции конгломератной смеси в системе «лессовидный суглинок-нефтешлам»

Сравнительные показатели физико-механических свойств опытно-промышленной партии керамзита представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Сравнительные показатели заводского керамзита и разработанного керамического состава с использованием конгломератных смесей на основе нефтешлама

№ п/ п	Показатели	Ед.изм.	Керамзит по заводской техноло- гии	Конгломератная смесь на основе нефтешлама в композиции лессовидныйсугли- нок-нефтешлам	Конгломератная смесь на основе нефтешлама в композиции мелкозернистый песок- нефтешлам
1.	Температура обжига	° С	1250	1150±20	1150±20
2.	Прочность при сдавливании в цилиндре	МПа	1,38	2,1-2,6	4,5-4,9
3.	Насыпная плотность	кг/м ³	316	350-400	570-597
4.	Водопоглоще- ние	%	25,85	18	17,8
5.	Морозостой- кость	циклы	Соответствуют нормативным показателям		

Участники промышленного внедрения в составе специалистов заключают следующее:

1. При введении энерговыделяемого компонента в виде конгломератной смеси на основе нефтешлама наблюдалось улучшение процесса вспучиваемости.
2. Разработана технология получения керамзита с применением нефтешлама, ориентированная на использование слабовспучивающихся и невспучивающихся глинистых пород Казахстана.

По СТ РК 948-92 изделия соответствуют маркам по насыпной плотности 350,400, 600, марки по прочности П50 и П125 соответственно с использованием конгломератной смеси в системе лессовидный суглинок-нефтешлам и мелкозернистый песок-нефтешлам.

Разработанная энергоэффективная технология, составы керамических композиций с использованием энерговыделяемого компонента в виде конгломератных смесей на основе нефтешлама приняты к внедрению, так



Керамзитовый цех ТОО «Стройкомбинат»



Подготовительные работы



Процесс внедрения конгломератной смеси с добавлением нефтешлама в технологическую линию



Процесс обжига керамзита во вращающейся печи

как они позволяют улучшить физико-механические свойства легкого заполнителя, сэкономить топливо на 25 – 30 %.

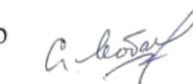
Подписи:

Инженер ТОО «Стройкомбинат»



Осанов Д.Г.

Начальник керамзитового цеха ТОО
«Стройкомбинат»



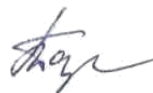
Атакаев Б.А.

Д.т.н., профессор (ЗКАТУ им. Жангир хана)



Монтаев С.А.

Старший научный сотрудник, магистр
(ЗКАТУ им. Жангир хана)



Таскалиев А.Т.

к.т.н., декан машиностроительного
факультета (ЗКАТУ им. Жангир хана)



Шакешев Б.Т.

декан политехнического
факультета (ЗКАТУ им. Жангир хана)



Бакушев А.А.

к.т.н., заведующая кафедрой
«Строительство и строительные
материалы» (ЗКАТУ им. Жангир хана)



Адилова Н.Б.

PhD докторант (ЗКАТУ им. Жангир хана)



Шингужиева А.Б.

PhD докторант (ЗКАТУ им. Жангир хана)



Рыскалиев М.Ж.

Магистрант (ЗКАТУ им. Жангир хана)



Шакратова Г.Г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир
хана

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной и
учебно-методической работе

Н.М. Губашев

«13» _____ 2016г.



г.Уральск

АКТ

о внедрении в учебный процесс разделов диссертационной работы Шингужиевой Алтынай Бакытжановны «Технологические параметры производства и физико-механические свойства керамзита на основе не вспучивающихся глин, модифицированных нефтешламами», представленной на соискание степени доктора философии PhD

Рассмотрев на учебно-методическом бюро машиностроительного факультета диссертационную работу Шингужиевой Алтынай Бакытжановны, комиссия предложила внедрить в учебный процесс следующее:

- подбор сырьевой базы для производства легких керамических заполнителей; технология легких заполнителей с использованием отходов производств. Данный материал читается для студентов-бакалавров и магистрантов специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»;

- разработка технологических режимов обжига керамических заполнителей. Данный материал читается для студентов-бакалавров и магистрантов специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» по дисциплинам «Технология керамзита и аглопорита», «Ресурсо и энергосберегающие технологии строительной керамики»;

- теплоизоляционный пористый материал. Данный материал читается для студентов-бакалавров и магистрантов специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» по дисциплинам

«Теплоизоляционные и акустические материалы», «Ресурсо и энергосберегающие технологии строительной керамики»;

- технология легких заполнителей с использованием отходов нефтяной промышленности - нефтяных шламов. Данный материал читается для студентов-бакалавров и магистрантов специальностей «Производство строительных материалов, изделий и конструкций», «Строительство» по дисциплинам «Технология производства строительных материалов на основе вторичного сырья», «Современные технологии строительных материалов и материаловедение».

По данным материалам профессором С.А. Монтаевым читаются лекции для студентов-бакалавров и магистрантов, проводятся практические и лабораторные занятия, выполняются курсовые, дипломные работы по специальности «Производство строительных материалов, изделий и конструкций» на кафедре «Строительство и строительные материалы».

Председатель учебно-методического
бюро машиностроительного факультета



Жанбулатова А. Б.

Декан машиностроительного
факультета, к.т.н.



Шакешев Б.Т.

Заведующая кафедрой
«Строительство и строительные
материалы», к.т.н.



Адилова Н.Б.

Д.т.н., профессор кафедры
«Строительство и строительные
материалы»



Монтаев С.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

<p>ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЭКОНОМИКА МИНИСТРЛІГІ ТҮТІНУШЫЛАРДЫҢ ҚҰҚЫҚТАРЫН ҚОРҒАУ КОМИТЕТІНІҢ ҰЛТТЫҚ САПАТТАМА ОРТАНДАСТЫРУ ШАРУАШЫЛЫҚ АЛМАНЫС ҚҰҚЫҒЫ РЕСПУБЛИКАНЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК ТЕСТІРІС БАТЫС ҚАЗАҚСТАН ОБЛАСТЫ БОЙЫНША ФИЛИАЛЫ</p> <p>№ <u>13-4-2/7536</u> 2016 ж. <u>05</u> <u>11</u> Орал қаласы</p>		<p>Филиал Республиканского государственного предприятия на праве хозяйственного ведения «Национальный центр экспертизы» Комитета по защите прав потребителей Министерства национальной экономики Республики Казахстан по Западно-Казахстанской области</p> <p>Испытательный центр Республика Казахстан, 090010, г. Уральск, ул. Д.Нурпейсовой, 19, тел./факс (7112) 51-52-34, тел. 51-50-68, E-mail: zko_csee@mail.online.kz</p> <p>Аттестат аккредитации № KZ.И.09.0592 от 8 декабря 2014 года действителен до 8 декабря 2019 года</p>
--	---	---

ПРОТОКОЛ
испытаний радиоактивности объектов окружающей среды
№ 698.03.2016
“03” ноября 2016г.

Страница 1
Всего страниц 2

Наименование объекта, адрес НАО Западно - Казахстанский аграрно - технический университет имени Жангир хана, г.Уральск, ул.Жангир хана,51

Время отбора образцов 02.11.16 г.

Метод исследования KZ 07.00.00304-2014

Исследования проводились прибором «Прогресс-Г» спектрометрический комплекс, зав. №9519

Сведения о поверке № ЯЧ-11-0000000016 от 25.08.2016 г.

дата и номер свидетельства

Дополнительные сведения об условиях измерения -

режим работы рентгеновской трубки

Исследования проводились на соответствие НД «Санитарно – эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» № 155 от 27.02.2015 года

Регистрационный номер	Наименование образца	Место образца	Удельная активность Бк/кг				
			Cs-137	Th-232	Ra-226	K-40	Эффективная удельная активность Бк/кг
1	2	3	4	5	6	7	8
1 обр-ц	Легкий заполнитель на основе лессовидного суглинка	Чаганского месторождения ЗКО и нефтешлама «Жайыкмунай»	-	<3	14,7±40	<21	14,7±7,263
2 обр-ц			-	9,068±56	9,476±70	130,6±34	32,46±10,02
3 обр-ц			-	6,767±70	12,19±56	131,9±34	32,27±9,949
4 обр-ц			-	12,95±43	<10	137,7±32	32,5±10,14
5 обр-ц			-	13,37±42,20	<9,5	139,5±32	33,85±10,34
Ср.знач			-	9,0±42,20	11,45±33,20	112,14±26,4	29,15±9,48

Страница 2
Всего страниц 2

Исполнитель(и):

С.М.Тю
ПОДПИСЬ

М.С.Уразбаева
инициалы, фамилия

Заведующий
лабораторией

ПОДПИСЬ

Ж.Б.Музатова
инициалы, фамилия

И.о. начальник ИЦ

ПОДПИСЬ

Ж.Б.Музатова
инициалы, фамилия

Ответственный за подготовку испытаний: Вра

Врач - лаборант
должность

С.М.Т. М.С.Уразбаева
подпись инициалы, фамилия

Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям. Частичная перепечатка протокола без разрешения ИЦ запрещена.



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) U (11) 3215
(51) C04B 14/12 (2006.01)
C04B 38/08 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21) 2018/0448.2

(22) 26.08.2016

(45) 22.10.2018, бюл. №39

(72) Монтаев Сарсенбек Алиакбарұлы; Бисенов Кылышбай Алдабергенович; Нарманова Роза Абдибековна; Таскалиев Азамат Тюлепкалиевич; Шингужиева Алтынай Бакытжановна; Монтаева Айнура Сарсенбековна; Жарылгапов Сабит Муратович; Монтаева Нургуль Сарсенбековна

(73) Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Кызылординский государственный университет имени Коркыт-Ата" Министерства образования и науки Республики Казахстан

(56) KZ 28448 A4, 15.05.2014

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКОГО ПОРИСТОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ

(57) Полезная модель «Способ получения легкого пористого заполнителя» относится к промышленности строительных материалов, в частности к производству легких заполнителей для бетонов и насыпных теплоизоляционных материалов и может быть использована в промышленном и гражданском строительстве.

Способ изготовления легкого заполнителя, включающий рыхление глины, дробление и отделение камня на дезинтеграторных вальцах, измельчение глины с помощью вальцов, перемешивание глины с добавлением воды в двухвальных смесителях, подача керамической

массы в дырчатые вальцы для получения сырцовых фракций заполнителя и обжиг во вращающейся печи с последующим охлаждением вспученного легкого заполнителя, отличающиеся тем, что в качестве основного сырья используется невспучивающийся лессовидный суглинок с фракциями 1,0-1,5 мм в количестве 85-93% и дополнительно содержит немолотый барханный песок и нефтешлам в количестве 7-15%, предварительно переведенного в конгломератное состояние, путем перемешивания в соотношении «барханный песок - нефтешлам» равное 5:1. При этом смесь барханного песка и нефтешлама, предварительно переведенное в конгломератное состояние подвергается совместному перемешиванию с лессовидным суглинком с добавлением воды в количестве 18-20%, после чего керамическая масса подается в дырчатые вальцы для получения сырцовых гранул с диаметром 10-20мм и обжигаются без предварительной сушки во вращающиеся печи согласно следующего режима: медленный подъем температуры до 230-350°C со скоростью 35-40°C в мин. с последующим резким подъемом температуры до 1150-1200°C со скоростью 95-110°C в мин. с экспозицией при этой температуре 10-15мин, затем изделия охлаждаются с снижением температуры обжига до 700-800°C со скоростью 50-60°C в мин с выдержкой при этой температуре 10-15мин. с последующим охлаждением до 30-40°C со скоростью 25-30°C в мин.

(19) KZ (13) U (11) 3215

Полезная модель относится к промышленности строительных материалов, в частности к производству легких заполнителей для бетонов и насыпных теплоизоляционных материалов и может быть использован в промышленном и гражданском строительстве.

Известен способ изготовления легкого заполнителя из вспучивающихся глин, включающий рыхление глины, дробление и отделение камня на дезинтеграторных вальцах, измельчение глины с помощью вальцов, перемешивание глины с добавлением воды в двухвальных смесителях, подача керамической массы в дырчатые вальцы для получения сырьевых фракций заполнителя, сушка и обжиг во вращающейся печи с последующим охлаждением вспученного легкого заполнителя. (Комар А.Г. Строительные материалы и изделия. М.: Высшая школа, 1988, с 70-71).

Практическая реализация описанного способа получения легкого заполнителя достигается при использовании глин с высоким коэффициентом вспучивания и требует обязательного процесса сушки гранул. Это ограничивает возможность широкого использования глинистого сырья с низкими и нулевыми значениями коэффициента вспучивания. А процесс сушки гранул усложняет технологию и требует дополнительных производственных мощностей.

Известен способ изготовления легкого заполнителя с использованием золы ТЭЦ с добавкой высокопластичной глины, включающий рыхление глины, дробление и отделение камня на дезинтеграторных вальцах, измельчение глины с помощью вальцов, перемешивание глины с золой ТЭЦ с добавлением воды в двухвальных смесителях, подача керамической массы в дырчатые вальцы для получения сырьевых фракций заполнителя сушка и обжиг во вращающейся печи с последующим охлаждением вспученного легкого заполнителя (Петров В.И. Пористые заполнители и легкие бетоны. Материаловедение. Технология производства. Самара.: Самарск, гос. арх.- стронт. ун-т 2009. с.292).

Недостатками данного способа является предварительное вылеживание смеси не менее 24 часов и усиленная подготовка керамической массы для достижения гомогенности, что усложняет технологический процесс производства, низкая сырьевая прочность гранул, приводящие к потере гранул по мере движения во вращающейся печи (до 10%) и высокая температура обжига (1200-1250°C), что приводит к повышению энергетических затрат.

Наиболее близким к полезной модели является способ получения легкого заполнителя, при реализации которого в качестве основного сырья используется не вспучивающиеся лессовидный суглинок с фракциями менее 1,0 мм в количестве 90-95% и дополнительно содержащий нефтешлам в количестве 5-10% предварительно переведенного в капиллярно-пористое коллоидное состояние путем совместного перемешивания с лессовидным суглинком с фракциями менее 1 мм в соотношении лессовидный суглинок- нефтешлам 3:1. При этом

лессовидный суглинок и нефтешлам предварительно переведенный в капиллярно-пористое коллоидное состояние подвергается совместному перемешиванию с добавлением воды в количестве 15-17%. Затем керамическая масса подается в дырчатые вальцы для получения сырьевых гранул с диаметром 8-20мм и обжигаются без предварительной сушки во вращающейся печи согласно следующего режима:

медленный подъем температуры до 200-230°C со скоростью 30-35°C в мин. и с последующим резким подъемом температуры до 1100-1150°C со скоростью 90-100°C в мин. с экспозицией при этой температуре 8-10мин. После выдержки изделия охлаждаются с снижением температуры обжига до 700-800°C с скоростью 60-70°C в мин с выдержкой при этой температуре 5-7мин. с последующим охлаждением до 70-80°C со скоростью 30-40°C в мин. (Инновационный патент №28448 «Способ получения легкого пористого заполнителя» Монтаев С.А., Таскалиев А.Т., Шакешев Б.Т., Жарылтапов С.М., Монтаева А.С., Монтаева Н.С. заявка №2013/0723.1 Зарегистр. 22.04.2014. опубл. 15.05.2014, бюл. №5).

Недостатком данного способа является, использование тонкодисперсного суглинка с фракциями менее 1 мм требующий дополнительные энергетические затраты, имеющие низкие прочностные показатели, низкую степень сцепления с вяжущим в составе бетонных и железобетонных изделий за счет гладкой поверхности готового продукта, что в совокупности не позволяют их использовать для производства легких теплоизоляционно-конструкционных бетонных и железобетонных изделий.

Главными задачами полезной модели является использование в качестве основного сырья, не вспучивающегося лессовидного суглинка и барханного песка в композиции с нефтешламом, повышение прочностных показателей готового продукта с сохранением теплоизоляционных качеств, создание шероховатой поверхности готового продукта, обеспечивающих надежное сцепление в вяжущим в составе бетонных и железобетонных изделий с целью использования их для производства легких теплоизоляционно-конструкционных бетонных и железобетонных изделий.

В качестве не вспучивающегося сырьевого компонента использовался лессовидный суглинок Кызылординского месторождения. По результатам исследований установлено, что суглинок Кызылординского месторождения содержит до 12% монтмориллонитового компонента, находящегося в форме смешаннослойных образований с гидрослюда и каолинитом. Из кристаллических фаз в глине также содержится кварц $d/n=4,23; 3,34; 1,974; 1,813; 1,538 \cdot 10^{-10}$ м, полевой шпат $d/n=3,18; 2,286 \cdot 10^{-10}$ м, кальцит $d/n=3,02; 2,018; 1,912 \cdot 10^{-10}$ м и гематит $d/n=1,839; 1,686; 1,590 \cdot 10^{-10}$ м.

По содержанию Al_2O_3 суглинок относится к группе кислого сырья, а по огнеупорности к легкоплавким. По содержанию Fe_2O_3 к сырью с

высоким содержанием красящих оксидов (таблица 1).

Табл. 1.

Химический состав суглинка Кызылординского месторождения

Наименование сырья	Содержание оксидов, мас. %												
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	F	SO ₃	CO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	п.п.п.
Суглинок Кызылординского месторождения	52,58	12,25	-	12,0	2,13	5,10	-	-	2,57	-	3,60	-	9,78

Экспериментальным путем определены месторождения, результаты которых представлены в таблице 2.

Табл. 2.

Пластичность глинистых компонентов

Наименование глины	Число пластичности	Классификация
Суглинок Кызылординского месторождения	11,5	умеренно-пластичный

В качестве барханного песка использовался барханный песок Кызылординского месторождения. Ниже представлены результаты проведения комплексных научно-экспериментальных работ по определению физико-механических и химико-минералогических свойств барханного песка Кызылординского месторождения таблицы 3-6.

Табл. 3.

Гранулометрический состав барханных песков

Наименование месторождения	Остатки на ситах	Размер ячейки шт, мм.						Прошло через сито
		5,0	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Кызылординское	частные	0	0	0	0	0,5	48,3	51,2
	полные	0	Го*	0	0	0,5	48,8	100,0

Табл. 4.

Физические характеристики барханных песков

№	Наименование показателей и единиц измерения	Месторождение песка
		Кызылординское
1	Насыпная плотность, кг/м	1350
2	Пустотность, %	48,9
3	Истинная плотность, г/см ³	2,64
4	Модуль крупности, М _д	0,49
5	Удельная поверхность, см ² /г	365
6	Потеря массы при отмучивании, %	1,3
7	Калориметрическая проба	Светлее эталона

Табл. 5.

Химический состав барханного песка

Наименование месторождения песка	Содержание окислов							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	п.п.п	Сумма, %
Кызылординское	73.6	5.56	1.99	9.05	1.0	1.9	6.9	100

Табл. 6.

Минералогический состав барханного песка

Наименование месторождения	Содержание минералов, %		
	кварц	Полевой шпат	карбонат
Кызылординское	63,7	18,3	13,8

В качестве нефтешлама использовалась нефтешлам АО «ПетроКазахстан Кумколь Ресорсиз», занимающихся разработкой нефтяного месторождения Кызылординской области.

Результаты углублённого изучения химического состава и характеристик нефтешлама представлены в таблице 7.

Табл. 7.

Групповой химический состав нефтешлама.

Групповой химический состав, % масс.:	Нефтешлам АО «ПетроКазахстан Кумколь Ресорсиз»
Парафино-нафтеновые углеводороды	35,4
Моноциклические ароматические	1,6
Би-и Трициклические ароматические	3,9
Полициклические ароматические	18,1
Смоли (в сумме)	28,4
Асфальтены	14,1

В естественном виде донный нефтешлам АО «ПетроКазахстан Кумколь Ресорсиз» представляет собой высоковязкую массу черного цвета.

Задача решается с помощью признаков, изложенных в формуле полезной модели, общих с прототипом, и отличительных существенных признаков, таких как, что в качестве основного сырья используется не вспучивающиеся лессовидный суглинок с фракциями 1,0-1,5 мм в количестве 85-93% и дополнительно содержит немолотый барханный песок и нефтешлам в количестве 7-15% предварительно переведенного в конгломератное состояние путем совместного перемешивания с барханным песком в соотношении барханный песок - нефтешлам 5:1. При этом барханный песок и нефтешлам предварительно переведенный в конгломератное состояние подвергается совместному перемешиванию с лессовидным суглинком с добавлением воды в количестве 18-20%, после чего керамическая масса подается в дырчатые валцы для получения сырьевых гранул с диаметром 10-20 мм и обжигаются без предварительной сушки во вращающиеся печи согласно следующего режима: медленный подъем температуры до 230-350°C со скоростью 35-40°C в мин. с последующим резким подъемом температуры до 1150-1200°C со скоростью 95-110°C в мин. с экспозицией при этой температуре 10-15 мин, затем изделия охлаждаются с снижением температуры обжига до 700-800°C со скоростью 50-60°C в мин с выдержкой при этой температуре 10-15 мин. с последующим охлаждением до 30-40°C со скоростью 25-30°C в мин.

Отличительная особенность предлагаемого способа заключается в том, что высоковязкий нефтешлам сначала переводится из коллоидного состояния в конгломератное тело путем смешивания

с немолотым барханным песком в соотношении барханный песок - нефтешлам 5:1, что позволяет получить органоминеральную смесь обладающие следующими преимуществами:

- приобретает свойства капиллярно - коллоидного тела;
- превращается в легко перемешиваемую массу с неорганическими компонентами;
- повышается степень модифицирующего действия на всех технологических стадиях производства легкого заполнителя.

Предлагаемые технологические приемы переработки и компонентные концентрации сырьевых смесей придает отличительные свойства керамической массе для производства легкого заполнителя, а именно:

- улучшаются реологические свойства массы, благодаря содержаниям в них нефтепродуктов, асфальтенов и смол, способствующие облегчению работ перемешивающего и формующего оборудования.
- снижается чувствительность керамической массы к ускоренной сушке, так как композиция барханный песок - нефтешлам обладает влагоудерживающей способностью, обеспечивающий равномерное удаление влаги по всей поверхности гранулы и предотвращает появления сушильных трещин.

- повышается сырьевая прочность гранул так как асфальтены и смолы в составе композиции барханный песок - нефтешлам повышает связующую способность керамической массы.

- отпадает необходимость предварительного вылеживания керамической массы в целях достижения их гомогенности так как композиция барханный песок - нефтешлам легко адсорбируется с основными компонентами благодаря свойствам капиллярно-пористого коллоидного тела.

- в процессе термообработки керамической массы по предлагаемому режиму в присутствии композиции барханный песок - нефтешлам способствует наибольшему газообразованию и порообразованию за счет горения их нефтесоставляющих продуктов на начальной стадии термообработки легкого заполнителя в области температур 450-550°C, а при дальнейшем быстром подъеме температур до пиропластического состояния керамической масс эти процессы продолжают накладываясь на друг друга. Образовавшиеся газы сохраняются и взаимодействуют с появившимся расплавом и производят работу по вспучиванию гранул.

Кроме того, при термообработке композиций лессовидный суглинок-барханный песок - нефтешлам появляются легкоплавкие эвтектические расплавы. При этом наличие минералов кварца в

составе немолотого барханного песка, способствует образованию прочной кристаллической структуры и шероховатой поверхности готового продукта, что обеспечивает высокие показатели прочности и надежное сцепление их с вяжущим в составе бетонных и железобетонных изделий.

- предлагаемый способ позволяет использовать невспучивающиеся глины и барханные пески, что значительно расширяет сырьевую базу производства легких пористых заполнителей.

- практическая реализация предлагаемого способа позволяет использовать нефтешламы в качестве энергосодержащего и вспучивающего реагента с выпуском конечного полезного продукта.

Сравнительные характеристики предлагаемого способа представлены в таблице 8.

Табл. 8.

Физико - механические свойства и технологические особенности легкого пористого заполнителя по предлагаемой технологии и прототипа

Способы	Необходимость использования лессовидного суглинка с фракциями менее 1 мм.	Сырьевая прочность гранул, МПа	Температура обжига, °С	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Требования к сырью по вспучиваемости	Кэф. тепл. проводности, Вт/м К
Предлагаемый способ	Нет необходимости	1,4-1,8	1180-1200	500-750	10,3-12,1	Позволяет использовать не вспучивающиеся глины	0,18
Прототип	Необходимо фракция лессовидного суглинка с фракциями менее 1 мм	0,6-0,9	1200-1250	300-350	3,5-4,0	Обязательное применение вспучивающей глины	0,17

Пример 1.

Сначала суглинок размалывают в лабораторной валковой дробилке до прохождения через сито 2,0 мм. Из приготовленного глинистого порошка берут пять частей с помощью цилиндрической емкости с объемом 1 литра и высыплют в сферическую чашу. Затем нефтешлам для перевода его из коллоидного состояния в конгломератное состояние в количестве одной части с помощью цилиндрической емкости с объемом 1 литра добавляют в сферическую чашу, где уже насыпано пять частей немолотого барханного песка. Смесь из двух компонентов тщательно перемешивают в лабораторной мешалке до получения однородной массы. Из приготовленной смеси с помощью электронных весов взвешивают в количестве 70 г. и переносят в лабораторную мешалку с молотым суглинком предварительно взвешенного в количестве 930 г. Смесь барханного песка и нефтешлама переведенного из коллоидного состояния в конгломератное состояние тщательно перемешивают с добавлением воды в количестве 18% (мас.) смеси до получения однородной массы.

Из полученной массы формовались гранулы диаметром 10-20 мм и обжигались без предварительной сушки в лабораторной вращающейся печи согласно следующего режима: подъем температуры до 200°C со скоростью 35°C в мин. с последующим резким подъемом температуры до 1150°C со скоростью 95°C в мин. с экспозицией при этой температуре 10 мин. После выдержки изделия охлаждаются с снижением температуры обжига до 700°C с скоростью 60°C в мин с выдержкой при этой температуре 5 мин. с последующим охлаждением до 30°C со скоростью 25°C в мин.

Пример 2.

Сначала суглинок размалывают в лабораторной валковой дробилке до прохождения через сито 2,0 мм. Из приготовленного глинистого порошка берут пять частей с помощью цилиндрической емкости с объемом 1 литра и высыплют в сферическую чашу. Затем нефтешлам для перевода его из коллоидного состояния в конгломератное состояние в количестве одной части с помощью цилиндрической емкости с объемом 1 литра

добавляют в сферическую чашу, где уже насыпано пять частей немолотого барханного песка. Смесь из двух компонентов тщательно перемешивают в лабораторной мешалке до получения однородной массы. Из приготовленной смеси с помощью электронных весов взвешивают в количестве 150 г. и переносят в лабораторную мешалку с молотым суглинком предварительно взвешенного в количестве 850 г. Смесь барханного песка и нефтешлама, переведенного из коллоидного состояния в конгломератное состояние, тщательно перемешивают с добавлением воды в количестве 20% (мас.) смеси до получения однородной массы. Из полученной массы формовались гранулы

диаметром 10-20 мм и обжигались без предварительной сушки в лабораторной вращающийся печи согласно следующего режима: подъем температуры до 200°C со скоростью 40°C в мин. с последующим резким подъемом температуры до 1200°C со скоростью 110°C в мин. с экспозицией при этой температуре 8 мин. После выдержки изделия охлаждаются с снижением температуры обжига до 800°C с скоростью 60°C в мин с выдержкой при этой температуре 15 мин. с последующим охлаждением до 40°C со скоростью 30°C в мин.

ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ

Способ изготовления легкого заполнителя, включающий рыхление глины, дробление и отделение камня на дезинтеграторных вальцах, измельчение глины с помощью вальцов,

перемешивание глины с добавлением воды в двухвальных смесителях, подача керамической массы в дырчатые вальцы для получения сырьевых фракций заполнителя и обжиг во вращающейся печи с последующим охлаждением вспученного легкого заполнителя, отличающийся тем, что в качестве основного сырья используют не вспучивающийся лессовидный суглинок с фракциями 1,0-1,5 мм в количестве 85-93% и дополнительно содержит немолотый барханный песок и нефтешлам в количестве 7-15%, предварительно переведенного в конгломератное состояние путем совместного перемешивания с барханным песком в соотношении барханный песок - нефтешлам 5:1; при этом смесь барханного песка и нефтешлама, предварительно переведенную в конгломератное состояние, подвергают совместному перемешиванию с лессовидным суглинком с добавлением воды в количестве 18-20%, после чего керамическую массу подают в дырчатые вальцы для получения сырьевых гранул с диаметром 10-20мм и обжигают без предварительной сушки во вращающейся печи согласно следующего режима: медленный подъем температуры до 230-350°C со скоростью 35-40°C в мин с последующим резким подъемом температуры до 1150-1200°C со скоростью 95-110°C в мин с экспозицией при этой температуре 10-15 мин, затем изделия охлаждают со снижением температуры обжига до 700-800°C со скоростью 50-60°C в мин с выдержкой при этой температуре 10-15 мин с последующим охлаждением до 30-40°C со скоростью 25-30°C в мин.

Верстка З. Абылкасымова
Корректор Б. Омарова

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**




ЗКФ ОПС АО "НаЦЭКС", г. Уральск, ул. Гагарина, 23
наименование органа по подтверждению соответствия
e-mail: secretary@zkfnaceks.com, <http://www.zkfnaceks.com>
и его адрес, сайт, электронный адрес



KZ.0090317

СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ
зарегистрирован в Государственном реестре

KCC № **0017490**

№ **KZ.2710317.05.01.00531**

Действителен до **16** июня 20**17** г.

Действителен до **16** июня 2018 г. при соблюдении условий хранения

1. Настоящий сертификат удостоверяет, что должным образом
Идентифицированная продукция Камни бетонные стеновые,
тип СКЦ, СТ РК 945-92,
наименование, тип, марка продукции
в количестве - 10 000 шт. **6 8 1 0 1 9 0 0 0**
Код ТН ВЭД ЕАЭС
складская справка № 1 от 29.01.2017
тип производства, размер партии **изготовленная**
Республика Казахстан,
страна, наименование предприятия, фирмы
ТОО "Иннотехпроект"
соответствует требованиям безопасности, установленным в
ТР "Требования к безопасности железобетонных, бетонных конструкций"
нормативно-правовые акты
утв. ПП РК № 1198 от 22.12.2008; СТ РК 945-92
или/или нормативные документы и их пункты

2. Заявитель (изготовитель, продавец) **ТОО "Иннотехпроект"**,
Республика Казахстан, г. Уральск, ул. Чагано-Набережная, 84
(нужное подчеркнуть)
наименование
адрес

3. Сертификат выдан на основании испытаний, проведенных в ОИ
ЗКФ АО "Национальный центр экспертизы и сертификации" № KZ.И.09.0204,
испытаний аккредитованной лабораторией, протокола № от
протокол № 256 от 09.02.2017; ИЛАО "ЗККСМ" № KZ.И.09.0287,
наименование лаборатории, регистрационный №, протокол испытаний аккредитации
протокол № 1 от 28.02.2017
протокол № от, сертификата системы менеджмента и заявки с прилагаемыми документами

4. Дополнительная информация **схема подтверждения соответствия № 7**



Подпись руководителя органа по подтверждению соответствия
или уполномоченного им лица

Подпись эксперта-аудитора

Е. Черненко
подпись инициалы, фамилия

О. Салтыкова
подпись инициалы, фамилия

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

«Утверждаю»

Директор ТОО «СМТ Кзылорда»

Алимкулов Т. М.

«10» ноября 2015 г.



АКТ

промышленного внедрения энергоэффективной технологии и состава сырьевых смесей для получения строительного керамического кирпича, разработанного Западно-Казахстанским аграрно-техническим университетом им. Жангир хана и Кызылординским государственным университетом им. Коркыт Ата (по инновационному патенту №29513 от 23.01.2015 «Способ получения стеновой керамики»).

Мы, нижеподписавшиеся, от ТОО «Асаркурылыс» директор Канибаев Б.К., технолог Алимкулов Н.С., от Кызылординского государственного университета им. Коркыт Ата, ректор, д.т.н., профессор Бисенов К.А., PhD докторант Жарылгапов С.М., руководитель отдела лабораторно-аналитического контроля департамента экологии по Кызылординской области Пазылова С.Б., ведущий научный сотрудник лаборатории инженерного профиля «Физики-химические методы анализа» к.т.н., доцент Нарманова Р.А., директор Кызылординского индустриально-технического колледжа, к.т.н. Оразбек.Т.О., руководитель лаборатории инженерного профиля «Физики-химические методы анализа» к.х.н., Аппазов Н.О., от Западно-Казахстанского аграрно-технического университета им. Жангир хана, директор НИИ «Инжиниринга и ресурсосбережения» д.т.н., профессор С.А.Монтаев, заведующий лабораторией НИИ «Инжиниринга и ресурсосбережения» магистр Таскалиев А.Т., PhD докторант Шингужиева А.Б. и инспектор отдела строительства «Управление строительства, архитектуры и градостроительства

Кызылординской области» Кошалаков Ч.А. составили настоящий акт о том, что с 19 октября по 31 октября 2015 года проведены промышленные испытания для внедрения энергоэффективной технологии составов и сырьевых смесей (по инновационному патенту №29513 от 23.01.2015 «Способ получения стеновой керамики») разработанных Западно-Казахстанским аграрно-техническим университетом им. Жангир хана и Кызылординским государственным университетом им. Коркыт Ата.

В качестве сырьевых материалов были использованы суглинок Кызылординского месторождения и конгломератная смесь на основе композиции лессовидный суглинок-нефтешлам. Для приготовления конгломератной смеси использовано нефтешлам нефтяных компаний ТОО «ПетроКазахстан» и ТОО «Жайкмунай».

Шихтовой состав сырьевых смесей представлен в таблице 1.

Приготовление конгломерата на основе нефтешлама производилась в лабораторных условиях НИИ «Инжиниринга и ресурсосбережения» Западно-Казахстанского аграрно-технического университета им. Жангир хана (ЗКАТУ им. Жангир хана)

На стадии подготовки конгломерата лессовидный суглинок размалывался в лабораторной шаровой мельнице до полного прохождения через сито 1,0 мм.

Добавка конгломерата на основе нефтешлама производилась вручную непосредственно над ленточным конвейером на стадии подготовки лессовидного суглинка. Подготовка суглинка производилась по заводской технологии.



Рис.1 Момент подготовки лессовидного суглинка в заводских условиях.



Рис.2 Момент процесса введения конгломератной смеси в заводской состав керамической массы.

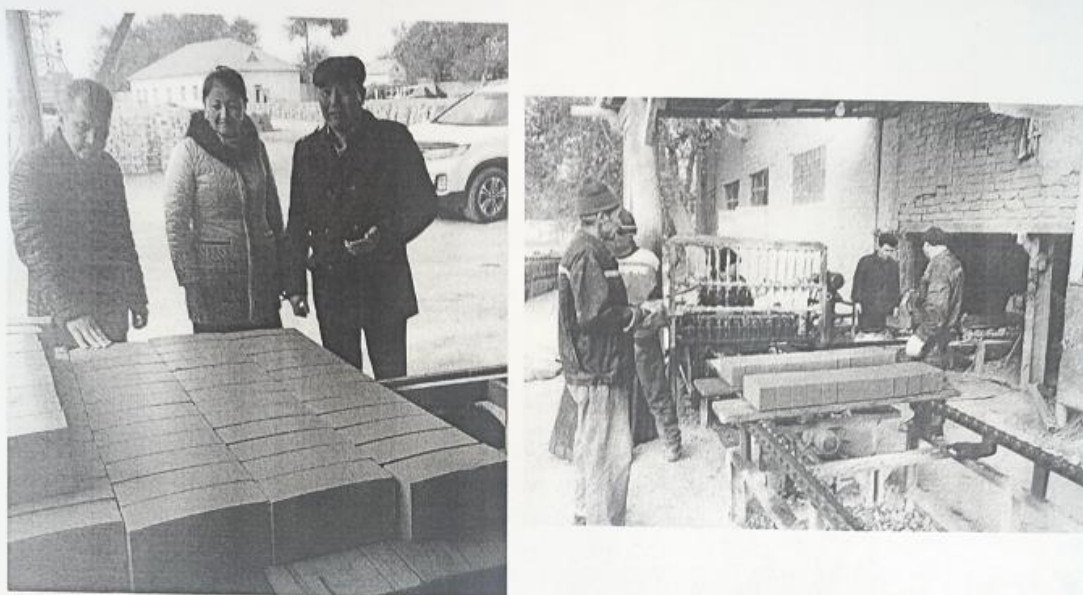


Рис.3 Момент формования керамической массы с использованием энергосодержащего компонента в виде конгломератной смеси на основе нефтешлама.

Таблица 1

Шихтовой состав сырьевых систем

№ состава	Содержание компонентов, масс %		
	Лессовидный суглинок	Конгломератная смесь на основе нефтешлама в композиции суглинок- нефтешлам	Конгломератная смесь на основе нефтешлама в композиции суглинок-нефтешлам —молотый стеклобой
1	70-75	25-30	-
2	70-75	-	25-30

Сырьевая смесь подавалась ленточными транспортерами в двухвальный смеситель для совместного перемешивания.

Прессование образцов осуществлялось на вакуумпрессе пластического формования. Отформованные кирпичи сырцы сушились в естественных условиях на территории завода.

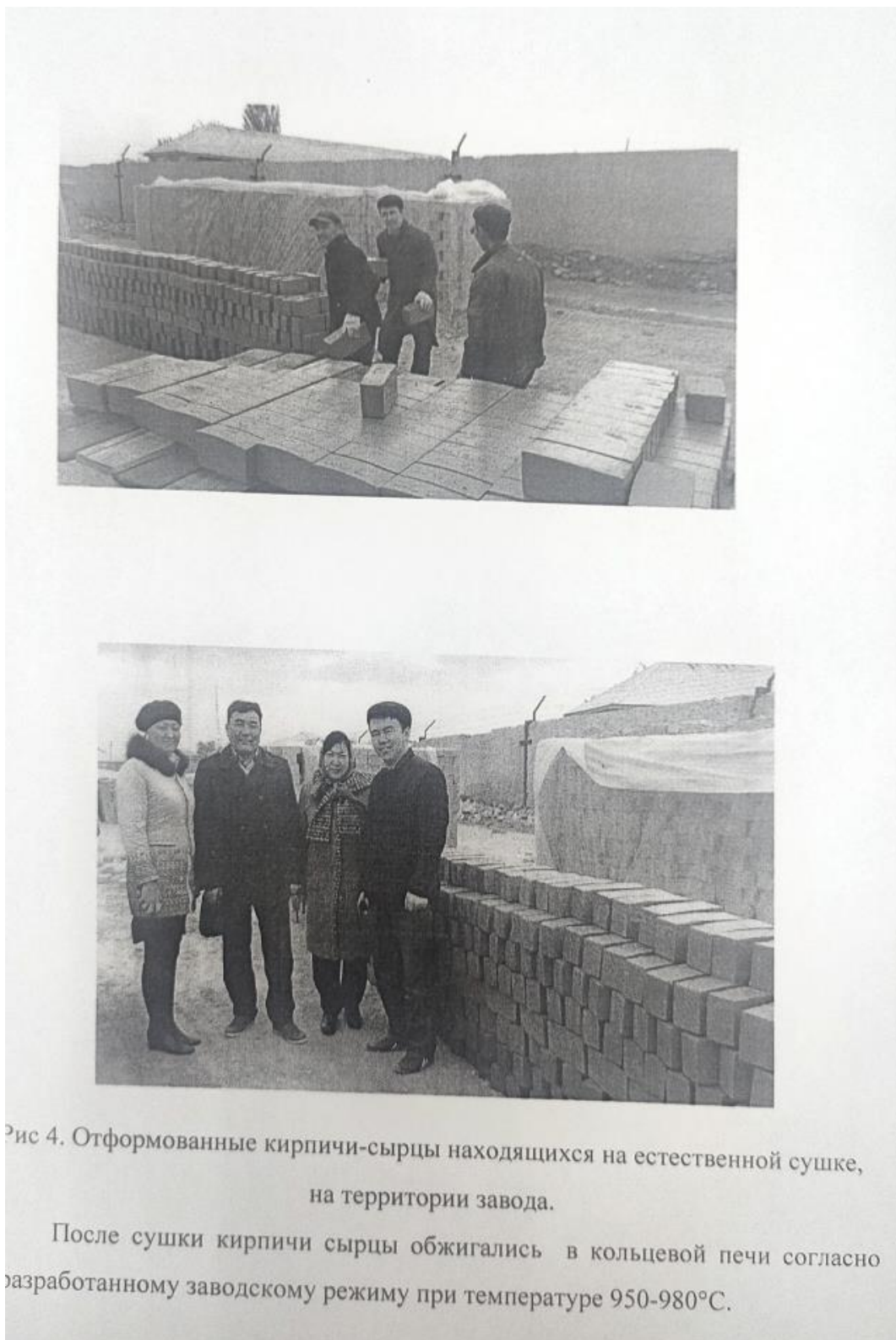


Рис 4. Отформованные кирпичи-сырцы находящихся на естественной сушке,
на территории завода.

После сушки кирпичи сырцы обжигались в кольцевой печи согласно
разработанному заводскому режиму при температуре 950-980°C.



Рис 5. Показания термопары заводской кольцевой печи



Рис 6. Процесс садки кирпича-сырца с использованием энергосодержащего компонента в виде конгломератной смеси на основе нефтешлама в заводскую кольцевую печь.

Общая продолжительность обжига для разработанных составов составило: 46 – 47ч.,

Участники промышленного внедрения в составе компонентных специалистов заключают следующее:

1. Введение энерговыделяемого компонента в виде конгломератной смеси на основе нефтешлама наблюдалась улучшение формующего оборудования, свидетельствующее о том, что присутствие данной добавки играет роль поверхностно-активного вещества. Вероятно присутствие нефтешлама в составе керамической массы проявляет смазывающий эффект при сдвиговых условиях работы пресса пластического формования;
2. В процессе формования керамических масс с использованием энерговыделяемого компонента в виде конгломератной смеси на основе нефтешлама наблюдалась отсутствие формовочных трещин у сырцовых изделий, свидетельствующее о том, что данная добавка положительно влияет на сушильные свойства отформованных сырцовых кирпичей;
3. Согласно ГОСТ 530-2012 "Кирпич и камень керамические" изделия соответствуют маркам 125 и 150. Разработанная технология и составы керамических композиций с использованием энерговыделяемого компонента в виде конгломератной смеси на основе нефтешлама приняты к внедрению, так как они позволяют повысить прочность кирпича, морозостойкость изделий, снизить и сократить продолжительность обжига и экономить топливо на 25 – 30 %.

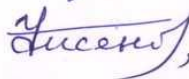
Подписи:

Технолог ТОО «Асар Курылыс»



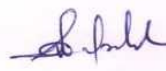
Алимкулов Н.

Ректор Кызылординского
государственного университета
имени КоркытАта, д.т.н., профессор



Бисенов К.А.

PhD докторант (КГУ им. КоркытАта)



Жарылгапов С.М.

Руководитель отдела лабораторно-
аналитического контроля
департамента экологии по
Кызылординской области



Пазылова С.Б.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті

БЕКІТІЛДІ
Оқу және оқу-әдістемелік
жұмыстар жөніндегі проректор
Н.М. Губашев
« 21 » 05 2016 ж.

Жарылғапов Сабит Муратовичтің
аяқталған ғылыми-зерттеу жұмысының (докторлық диссертация)
нәтижесін оқу үрдісіне енгізу

АКТІСІ

Машина жасау факультетінің оқу-әдістемелік бюросының құрамы: төрайымы, т.ғ.м., аға оқытушы Д.Н. Деликешева және мүшелері т.ғ.д., профессор С.А. Монтаев, т.ғ.к., аға оқытушы Б.Т. Шакешев, т.ғ.к., аға оқытушы Адилова Н.Б., т.ғ.к., аға оқытушы К.А. Нариков.

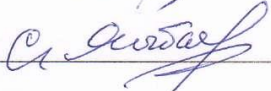
Осы акт, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университетінің 6D073000 - «Құрылыс материалдарын, бұйымдарын және құрастырылымдарын өндіру» мамандығының мақсатты бағытта оқып жатқан PhD докторанты Жарылғапов Сабит Муратовичтің «Мұнай шламын қолданып қабырға керамикасын өндірудің технологиялық параметрлерін жасау және физика-механикалық қасиеттерін зерттеу» тақырыбындағы аяқталған ғылыми-зерттеу жұмысын (докторлық диссертация) Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университетінің Машина жасау факультетінің «Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасында 2015-2016 оқу жылында оқу үдерісіне енгізілуіне байланысты жасалып және ОӘБ-ның 2016 жылдың 26 маусыры отырысының № 10 хаттамасында тіркелінді.

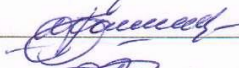
Енгізілу формасы (жаңа курстың, лекция бөлімінің, зертханалық жұмыстың, оқу көмекші құралының, бағдарламалық жабдықтаудың және т.б. атауы)	Енгізулердің атауы (жариялымдар, ұсыныстар, конференциялардағы баяндамалары көрсетілген енгізілген жұмыстың қысқаша мазмұны)	Енгізу көлемі (дәріс жұмыстарының сағаты)
1. «Құрылыстық керамика технологиясы» пәні бойынша «Өндіріс қалдығы ретінде мұнай шламын керамика өндірісінде қолдану» тақырыбындағы дәріс сабақтарын даярлауда және зертханалық тәжірибе жүргізуде қолданылды. (Дәріс)	Зерттеу жұмысымыздың мақсаты физика-механикалық қасиеттері жақсартылған қабырға керамикасының технологиясын жасау. Негізгі шикізат материалы ретінде жергілікті Шаған кен орнының сазы, коспа ретінде «Жайықмұнай» ЖШС-нің мұнай шламы қолданылды. Ғылыми зерттеу жұмысын жүргізу үшін сазды ШСП-0,5-70 кептіру шкафында 100-110 °C температурада кептірілді. Одан соң кептірілген сазды МШЛ-1П маркалы зертханалық шарлы диірменде меншікті ұнтақтың 1100-1200 см ² /г дейін үгітілді. Сазға белгілі бір үлестегі мұнай шламын қоса отырып, біркелкі құрам алынғанша араластырылды. Алынған құрамға су қосу негізінде иілімді массаға айналдырып, одан преспен сығу	2 сағат

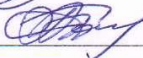
	<p>арқылы цилиндр үлгілер дайындалды. Жартылай дайын үлгі кептіру шкафында құрғатылып, 1000 °С температурада пеште күйдірілді.</p> <p>Сонымен жүргізілген зерттеу нәтижесінде келесідей қорытынды жасалады:</p> <p>1. Мұнай шламы қолданғаннан керамикалық массаның реологиялық қасиеті 20-30% жақсарды.</p> <p>2. Керамикалық масса құрамына мұнай шламы қоспасын қосу арқылы үлгінің беріктігін сақтай отырып, жылуөткізгіштік, жеңілдік, кеуектілік қасиеттері жақсарды.</p>	
2.«Құрылыстық керамика технологиясы» пәні бойынша «Мұнай шламын пайдаланып керамикалық қабырға кірпішін алудың технологиясы» тақырыбындағы дәріс сабақтарын даярлауда және зертханалық тәжірибе жүргізуде қолданылды. (Дәріс)	<p>Зерттеудің міндеті керамикалық материалдар өндірісінде мұнай шламын пайдалану арқылы тиімді әдісті жасау. Зерттеу нәтижелері жаңа ғылыми нәтижелерге қоса, кептіру, күйдіру кезеңдерінде энергия шығынын төмендетуге болатынын көрсетті. Ұсынылған технология бойынша отын шығыны 25-30 пайызға, ал күйдіру уақыты 1-1,5 сағатқа қысқарды.</p>	2 сағат
	<p>Жарияланымдар:</p> <p>Нефтьшлам как энерговыделяемый и модифицирующий компонент в технологии строительной керамики. // "Қазақстан ғылымының жаңалықтары" Ғылыми-техникалық журнал №3 (125) Алматы 2015 ж. 6 204 - 218</p>	

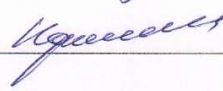
Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық - техникалық университетінің «Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасының кеңейтілген отырысында (хаттама №10 23.05.2016.) Қорқыт Ата атындағы Қызылорда мемлекеттік университетінің 6D073000 - «Құрылыс материалдарын, бұйымдарын және құрастырылымдарын өндіру» мамандығының мақсатты бағытта оқып жатқан PhD докторанты Жарылғапов Сабит Муратовичтің аяқталған ғылыми-зерттеу жұмысының (докторлық диссертация) нәтижесі оқу үрдісіне енгізілді.

Комиссия төрайымы _____  Деликешева Д.Н.

Комиссия мүшелері _____  Монтаев С.А.

_____  Шакешев Б.Т.

_____  Адилова Н.Б.

_____  Нариков К. А.



(19) **МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

(12) **ИННОВАЦИОННЫЙ ПАТЕНТ**

(11) **№ 29517**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

(54) **НАЗВАНИЕ:** Способ получения стеновой керамики

(73) **ПАТЕНТООБЛАДАТЕЛЬ:** Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана" Министерства образования и науки Республики Казахстан

(72) **АВТОР (АВТОРЫ):** Монтаев Сарсенбек Алиакбарулы (KZ); Бисенов Кылышбай Алдабергенович; Таскалиев Азамат Тюлепкалиевич (KZ); Жарылгапов Сабит Муратович (KZ); Пазылова Сандугаш Бексеновна; Адилова Нургуль Болатовна (KZ); Монтаева Нургуль Сарсенбековна (KZ)

(21) **Заявка № 2014/0272.1** (22) **Дата подачи заявки 12.03.2014**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Казахстан 23.01.2015г.

Действие инновационного патента распространяется на всю территорию Республики Казахстан при условии своевременной оплаты поддержания инновационного патента в силе.

Заместитель министра юстиции
Республики Казахстан



Э. АЗИМОВ

Сведения о внесении изменений приводятся на отдельном листе в виде приложения к настоящему инновационному патенту

Научное издание

**С.А. Монтаев
А.Б. Шингужиева**

**Разработка технологии строительной керамики
с использованием нефтешламов в качестве
модификатора**

Монография

Подписано к печати 15.09.2025 г.
Формат 60x84¹/₁₆ Бумага листовая 80 м/г
Объем 13,25 п.л. Заказ №338
Тираж 500 экз.

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

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