

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН**

Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова

УДК 666.940

на праве рукописи

АМИРАЛИЕВ БАУРЖАН БЕЙСЕНБЕКОВИЧ

**Разработка и исследование свойств композиционных цементов с
пониженными выбросами углекислого газа**

Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе 8D07190 - Химическая технология
тугоплавких неметаллических и силикатных материалов

Отечественный научный
консультант:
д.т.н., профессор
Таймасов Б. Т.
ЮКУ им. М. Ауэзова

Зарубежный научный
консультант:
д.т.н., профессор
Потапова Е.Н.
РХТУ им Д.И.Менделеева

Шымкент, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	7
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	14
1.2 Тенденции экологичного малоэнергоемкого развития технологий цементного процесса	14
2 ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	26
2.1 Характеристика применяемых сырьевых материалов	26
2.2 Методы исследования	27
2.2.1 Растровый сканирующий электронно-микроскопический анализ	27
2.2.2 Рентгенофазный анализ	32
2.2.3 Дифрактометрический анализ исследования структуры вещества	35
2.3 Методы термического исследования	36
2.3.1 Дифференциально-термический анализ	36
2.3.2 Термогравиметрический анализ	38
2.4 Инфракрасный спектроскопический анализ	40
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБЖИГА ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦЕВ	43
3.1 Определение пуццолановой активности минеральных добавок методом поглощения гидроксида кальция	43
3.2 Исследование физико-химических превращений при обжиге глинистых сланцев	44
3.3 Исследование пуццолановой активности обожженных сланцев	48
4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРАТАЦИИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЦЕМЕНТОВ	52
4.1 Исследование физико-механических свойств композиционных цементов	52
4.2 Исследование процессов гидратации и твердения разработанных композиционных цементов	56
4.3 Расчет снижения выбросов CO ₂ при выпуске композиционных цементов с добавками обожженных сланцев	75
4.4 Дозиметрический контроль образцов глинистого сланца, композиционного цемента и образцов балочек из композиционного цемента	75
4.5 Разработка технологического регламента на производство композиционных цементов ТОО «NE Innovation Technology»	77
4.6 Разработка технических условий на производство композиционных цементов ТОО «NE Innovation Technology»	79

4.7	Технологическая схема производства композиционных цементов и компоновка оборудования цементного завода	79
5	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	83
5.1	Расчет экономической эффективности внедрения минеральных добавок в производство путем тепловой обработки подачи глинистых сланцев в различные температурные зоны холодильника вращающейся печи	83
5.2	Исходные данные расчета внедрения технологии	83
5.3	Расчет экономической эффективности после внедрения мероприятия	83
5.4	Математическое моделирование свойств композиционных цементов с пониженными выбросами углекислого газа	84
5.5	Бизнес модель по производству композиционного цемента	94
5.5.1.	Актуальность и глобальный контекст	94
5.5.2	Бизнес модель проекта	96
5.5.3	Экономический эффект и рентабельность производства композиционного цемента	100
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	103
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	104
	ПРИЛОЖЕНИЕ А Дозиметрический контроль образцов глинистого сланца	113
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б Дозиметрический контроль образцов композиционного цемента	115
	ПРИЛОЖЕНИЕ В Дозиметрический контроль образцов балочек из композиционного цемента	117
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г Технологический регламент на производство композиционных и специальных цементов	119
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д Технические условия на производство композиционных и специальных цементов	136
	ПРИЛОЖЕНИЕ Е Протокол промышленных испытаний образцов из композиционных цементов	147
	ПРИЛОЖЕНИЕ Ж АКТ приемки опытных образцов	150
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3 Внедрение результатов исследований в промышленность	151

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.

ГОСТ 12730.1-2020. бетоны. Методы определения плотности.

ГОСТ 23464-79.цементы. Классификация.

ГОСТ 24640-91. цементные смеси. Классификация.

ГОСТ 25094-94. добавки минеральные активные для цементов. Методы испытаний.

ГОСТ 25328-82. Цемент для растворов. Технические условия. 39

ГОСТ Р54194-2010. Ресурсосбережение. Производство цемента. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности

ГОСТ 30515-97. Цементы. Общие технические условия.

ГОСТ 310.1-81. Цементы. Методы испытаний. Общие положения.

ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения прочности на изгиб и сжатие.

ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия.

ГОСТ 5382-91. Цемент и материалы цементного производства. Методы химического анализа.

EN 196-1. Methods of testing cement. Determination of strength.

EN 196-6. Methods of testing cement. Determination of fineness.

ГОСТ 310.2-81. Методы определения тонкости помола.

ГОСТ 310.3-81. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации использованы следующие термины с соответствующими определениями:

Пуццолановые минеральные добавки – природные или техногенные алюмосиликатные материалы, содержащие значительное количество активной (аморфной) фазы. При взаимодействии с гидроксидом кальция (Ca(OH)_2), выделяющимся при гидратации клинкерных минералов портландцемента, они формируют труднорастворимые, прочностные гидросиликатные и гидроалюмосиликатные новообразования.

Глинистый сланец – горная порода метаморфического происхождения, характеризующаяся отчетливо выраженной сланцевой структурой, образованная из уплотненных глинистых отложений под воздействием динамометаморфизма.

Цементное тесто – однородная пластично-вязкая дисперсная система, формирующаяся при смешивании цемента с водой в заданном соотношении

Нормальная густота цементного теста – соотношение массы воды к массе цемента, при котором цементное тесто достигает стандартной консистенции

Водоёмкость цемента – соотношение воды к цементу, необходимое для достижения стандартной подвижности (нормальной густоты) цементного раствора или теста.

Гидратация – сложный физико-химический процесс, протекающий в цементно-водной системе, включающий растворение клинкерных минералов, образование пересыщенных растворов и последующую кристаллизацию новых водосодержащих гидратных фаз, формирующих геликристаллический цементный камень.

Схватывание цемента – необратимый процесс потери пластичности и подвижности цементного теста, обусловленный начальными стадиями гидратации клинкерных минералов и формированием первичного коагуляционно-кристаллизационного каркаса.

Затвердевание цемента – процесс формирования прочной, стабильной структуры цементного камня, обусловленный интенсивным ростом и срастанием кристаллогидратов.

Цементный камень – искусственный геликристаллический конгломератно-цементный материал, получаемый в результате гидратации и затвердевания цементного теста, обладающий требуемыми физико-механическими свойствами.

Влагоемкость – физическая характеристика, определяемая как отношение прироста массы образца, полностью насыщенного водой, к его массе в сухом состоянии, выраженное в процентах.

Коэффициент размягчения – показатель водостойкости материала, определяемый как отношение прочности материала в водонасыщенном состоянии к его прочности в воздушно-сухом состоянии.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

РК	- Республика Казахстан
МНиВО	- Министерство науки и высшего образования
ККСОН	- Комитет по контролю в сфере образования и науки
ГОСТ	- Государственный стандарт
ПЦ	- Портландцемент
КЦ	- Композиционный цемент
АМД	- Активная минеральная добавка
ТОО	- Товарищество с ограниченной ответственностью
ESEM	- Electronicscanningmicroscopy
NPRA	- Nuclear Resonance Reaction Analysis
QENS	- Quazi Elastic Neutron Dispersion
РЭМ	- Растровый электронный микроскоп
X-ray	- Анализ рентгенофазовый
ДРОН	- Дериватографический анализатор
TGA	- Термографический анализ
CEM-I	- Обозначения типа цементов
идр.	
АМД	- Активная минеральная добавка
WBCSD	- World Business Councilfor Sustainable Development
GCCA	- Global Cement and Concrete Association
CSI	- Cement Sustainability Initiative
CO ₂	- Углекислый газ

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы. Данное исследование имеет стратегическое значение, поскольку оно направлено на разработку и внедрение инновационных ресурсосберегающих технологий в строительную отрасль производства строительных материалов Республики Казахстан. Основная цель – создание нового поколения композиционных цементов (КЦ), которые послужат основой для производства нормальноотвердевающих и высокопрочных бетонов. Это напрямую соответствует приоритетам развития национальной экономики, ориентированным на повышение конкурентоспособности и снижение экологического воздействия промышленных производств на окружающую среду.

Внедрение результатов проекта обладает высоким научно-техническим и коммерческим потенциалом. С научной точки зрения, работа сфокусирована на обосновании технологии, позволяющей снизить энергозатраты и выбросы CO_2 при производстве цемента, что является ключевой глобальной тенденцией. Для этого проводится всесторонний комплексный химико-минералогический анализ потенциальных активных минеральных добавок (АМД), в частности, доступных местных глинистых сланцев.

Республика Казахстан (РК), наряду с мировым сообществом, следует принципам Парижского соглашения, направленным на выполнение национальных обязательств по достижению целей устойчивого развития и ограничению роста глобальной средней температуры. В стране реализуются меры государственной экологической политики, направленные на снижение негативного воздействия на окружающую среду и сохранение природных ресурсов для будущих поколений [1, 2, 3, 4].

Один из эффективных способов сократить объем вредных выбросов, в частности углекислого газа, образующегося при производстве портландцементного клинкера, заключается в применении активных минеральных добавок. Их использование позволяет уменьшить содержание клинкера в цементе. Таким образом, разработка композиционных цементов с частичной заменой дорогостоящего клинкера активными минеральными компонентами способствует снижению выбросов CO_2 в атмосферу. Проблема сокращения углеродных выбросов является актуальной и вызывает беспокойство во всем мире – в Европе, США, Китае и других странах [5-12].

В соответствии с утверждённым Правительством Республики Казахстан Национальным планом распределения углеродных квот на 2022 – 2025 годы [1, 5] и Экологическим кодексом Республики Казахстан от 9 января 2007 года (подпункт 7 статьи 16), общий объем квот на выбросы парниковых газов для регулируемых сфер деятельности установлен в размере 108,8 млн тонн. Из этого объема определены квоты для обрабатывающей

промышленности, в частности для предприятий, занимающихся производством строительных материалов (цемента, извести, гипса и кирпича).

В том числе, для цементных заводов установлены следующие лимиты на выбросы CO_2 : на 2022 год – 6,02 млн тонн; на 2023 год – 5,55 млн тонн; на 2024 год – 5,5 млн тонн; на 2025 год – 5,2 млн тонн [1, 5].

Для каждого цементного завода РК установлены свои квоты, которые, определяются объемом выбросов CO_2 на данном предприятии. Перед всеми предприятиями отрасли стоит задача снижения выбросов CO_2 . Поэтому актуальным и наименее затратным мероприятием может являться получение композиционных цементов с частичной заменой клинкера в цементе минеральными добавками. Это также будет способствовать поддержанию и увеличению ежегодного объема выпуска продукции, столь востребованной в строительной отрасли.

Одним из эффективных путей решения задач энергосбережения и улучшения экологической ситуации в цементном производстве является утилизация отходов и частичная замена дорогостоящего клинкера природными или техногенными минеральными добавками, что позволяет получать низкоклинкерные виды цемент.

Добавки доступны не во всех регионах, где расположены цементные заводы. Наиболее доступными на сегодняшний день являются пуццоланы, доменные, фосфорные шлаки, золы и др. Задачей исследователей является изыскание и увеличение ассортимента и объема качественных минеральных добавок. Причем, данные материалы должны располагаться вблизи цементного производства, чтобы сократить логистические затраты.

На территории РК достаточно распространены глинистые сланцы, которые используют в качестве сырьевых компонентов при получении портландцементного клинкера. Природный сланец можно использовать и в составе смесевых, композиционных цементов.

Термообработанный глинистый сланец является достаточно эффективным материалом для использования в качестве активной минеральной добавки.

Он представляет собой актуальный компонент в производстве цемента, поскольку позволяет частично заменить клинкер, способствует повышению прочности портландцемента, а также положительно влияет на процессы помола и формирование структуры твердеющего цементного камня.

В целом, представленная работа является важным шагом к переходу на «зеленые» технологии в производстве вяжущих веществ, создавая научный базис для получения строительных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками при минимальном экологическом следе.

Актуальность темы.

Актуальность разработки композиционных цементов (КЦ) с пониженными выбросами CO_2 обусловлена глобальными вызовами в

строительной индустрии, направленными на ресурсосбережение, экологизацию производства и снижение его энергоемкости.

Цементная промышленность является одним из крупнейших источников выбросов углекислого газа, связанных с высокотемпературным обжигом портландцементного клинкера. Актуальность исследования состоит в разработке предложении технологического решения, снижающего климатическое воздействие за счет замещения части клинкера (на 5 – 20 %) активными минеральными добавками. Расчет снижения выбросов CO_2 позволит обеспечить количественную оценку экологической эффективности внедрения разработанной технологии.

Разработки и исследования в этой области решают стратегическую задачу расширения сырьевой базы за счет вовлечения в производство местного, ранее недооцененного техногенного и природного сырья Казахстана (глинистые сланцы Куюкского и Мынаральского месторождений). Проведение полного физико-химического анализа этих материалов и установление оптимальных параметров термической активации глинистых сланцев является критически важным для перехода к экономически выгодному производству.

Актуальность также заключается в глубоком научном обосновании процессов получения, гидратации и твердения, структурообразования композиционных цементов с новыми эффективными добавками.

Разрабатываемая технология является современным и технологичным решением, которое позволит снизить себестоимость продукции и расход электроэнергии на помол. Это создает условия для широкого внедрения КЦ на крупных цементных предприятиях и для организации производства на уровне малых предприятий по выпуску безобжиговых вяжущих, удовлетворяя спрос со стороны строительных компаний и заводов железобетонных изделий.

Таким образом, данное исследование имеет комплексную актуальность, охватывая экологические, экономические, сырьевые и технологические аспекты развития цементной промышленности.

Цели и задачи исследования

Цель данной работы заключается в создании научно обоснованной, энергоэффективной и экологически безопасной технологии производства композиционных цементов с уменьшенными выбросами CO_2 .

Задачи исследования

В целях достижения поставленной цели необходимо решить совокупность следующих задач:

- обосновать и реализовать выбор рациональных минеральных добавок, обеспечивающих получение высококачественных композиционных цементов;
- научно обосновать и определить оптимальные параметры термообработки глинистых сланцев с целью повышения их пуццолановой и гидравлической активности;

- изучить особенности помола композиционных цементов и определить, как различные активные минеральные добавки влияют на процессы диспергирования;

- изучить механизмы гидратации и твердения композиционных цементов, изучить закономерности влияния химико-минералогического состава композиционных цементов, содержания минеральных добавок, температуры термообработки глинистых сланцев, тонкости помола на физико-механические свойства, водопотребность, сроки схватывания композиционных цементов.

Объект исследования. Объектом исследования является технология получения композиционных цементов при введении термообработанных глинистых сланцев

Предмет исследования.

Процесс термической обработки глинистых сланцев куюкского и мынаральского месторождений с разработкой технологии получения на их основе высококачественных композиционных цементов СЕМ II/АК ГОСТ 31108-2020.

Научная новизна и значимость исследований

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработана и обоснована технология получения высокоактивной минеральной добавки для композиционных цементов путем термической активации глинистых сланцев куюкского, мынаральского месторождения и др. в диапазоне температур 700-900 °С.

2. Установлены закономерности фазовых и структурных преобразований в глинистых сланцах в процессе обжига при 700-900 °С, выявлен механизм и температурные границы полной дегидратации и образования высокоактивных алюмосиликатов с хаотичной и аморфной структурой с завершением процесса при 900 °С.

3. Установлены закономерности влияния термоактивированных глинистых сланцев на кинетику гидратации и структуру цементного камня.

Определена оптимальная дозировка добавки, составляющая 15 % для глинистых сланцев, обожженных при 900 °С, которая обеспечивает максимальный прирост прочности с 48 МПа до 51 МПа.

4. Выявлен синергетический эффект дополнительных оксидов Al_2O_3 , CaO из обожженных сланцев, который ускоряет набор прочности цементным камнем в начальные сроки твердения.

5. Доказано, что высокое содержание активного SiO_2 в минеральной добавке направленно способствует образованию стабильных двухкальциевых гидросиликатов типа C_2SH (А) и C_2SH (В), обеспечивающих высокую долговременную прочность композиционных цементов.

Теоретическая значимость. Теоретическая значимость работы заключается в расширении и углублении научных представлений о процессах формирования структуры цементного камня композиционного цемента с добавлением обожженных глинистых сланцев в качестве АМД, установлены

оптимальные режимы обжига сланцев, показано их влияние на кинетику процессов гидратации и твердения цементных систем композиционных вяжущих.

Полученные результаты способствуют развитию теории процессов гидратации и твердения цементных систем при введении обожженных глинистых сланцев, дают возможность снижения доли клинкера в цементе и за счет этого уменьшения выбросов углекислоты в окружающую среду, улучшению экологической ситуации, подтверждают её эффективность и перспективы промышленного внедрения на цементных заводах Южного Казахстана.

Таким образом, работа вносит существенный вклад в фундаментальные основы материаловедения и технологии производства композиционных цементов, а также в теорию и практику вопросов снижения выбросов углекислоты в атмосферу.

Практическая значимость исследований.

Разработка вносит существенный вклад в материаловедение и технологию вяжущих веществ, предоставляя научно обоснованный регламент производства высокоэффективных композиционных цементов. Установлены оптимальные режимы активации глинистых сланцев путем термической обработки при 700 – 900 °С. В результате активность по поглощению СаО увеличивается до 34,4 мг/г СаО.

Разработанные составы композиционных цементов с добавками термообработанных сланцев в количестве 15 % имеют прочность на 10-15 % выше, чем у аналогов. Это позволит увеличить объем выпуска композиционных цементов, уменьшить содержание клинкера на 15 % и на столько же уменьшить объем выбросов углекислоты в атмосферу. Проект напрямую способствует снижению углеродного следа цементной отрасли.

Внедрение в производство полученной технологии не требует дополнительных вложений и оборудования. Способ подачи глинистых сланцев в холодильник вращающейся печи позволяет производить необходимую тепловую обработку без дополнительных затрат топлива и энергии.

Связь с планом основных научных работ. Диссертационная работа выполнялась в рамках научного проекта Комитета науки МН и ВО РК, ПЦФ №BR21882292 – «Комплексное развитие устойчивых строительных отраслей: инновационные технологии, оптимизация производства, эффективное использование ресурсов и создание технологического парка».

Основные положения, выносимые на защиту:

- закономерности фазовых и структурных преобразований в глинистых сланцах в процессе термической обработки;
- разработанные оптимальные составы и технологический регламент производства композиционных цементов СЕМ II / А-К;

- закономерности влияния разработанных активных минеральных добавок на процессы гидратации, твердения и эксплуатационные характеристики композиционных цементов;

- экологический и экономический эффект от внедрения разработки в производство.

Апробация результатов.

- VII Международная научно-техническая конференция «Минские научные чтения – 2024» «Повышение качества конкурентоспособности экономики на основе инновационных образовательных и научно-технических разработок» конкурс инновационных научных проектов молодых ученых. 3-5 декабря 2024 г., г. Минск, Республика Беларусь;

– Международная научно-практическая конференция на тему «Современные строительные материалы и технологии в строительстве энерго- и ресурсосберегающих зданий», 19-20 декабря 2024 г. Фергана, Республика Узбекистан;

– Республиканский ежегодный конкурс научно-исследовательских работ докторантов по естественным, техническим, социально-гуманитарным и экономическим наукам, диплом за 3 место, апрель-мая 2025 г. Республика Казахстан.

Публикации.

На основе материалов диссертационной работы опубликовано 9 научных трудов, включая 2 статьи в журналах индексируемых в международной базе данных Скопус, 3 статьи в изданиях, рекомендованных ККСОН МН и ВО РК, а также 3 статьи в международных научных конференциях:

1. B. Amiraliyev, B. Taimasov, E. Potapova, B. Sarsenbaev, M. Begentayev, M. Dauletiyarov, A. Kuandykova A. Abdullin, N. Ainabekov, S. Auyesbek. Heat treatment of clay shales and their utilization as active mineral additives for the production of composite cements Journal of Composites Science. 2025, 9. doi: 10.20944/preprints202504.1746.v1

https://www.preprints.org/frontend/manuscript/df57aa654e286bfdbcb32a06cf11725/download_pub <https://doi.org/10.3390/jcs9060269>[13];

2. Amiraliyev B., Imanaliyev K., Aymenov Zh., Kuldeyev E., Tulaganov B. Eco-efficient composite cements and arbolite using burnt clay shale from the Mynaral deposit. Technobius, 5(3), 0087. Астана, 2025;

3. Амиралиев Б.Б., Куандыкова А.Е., Таймасов Б.Т., Даулетияров М.С., Калымбетов Г.Е. Исследование и определение активности минеральных добавок классическим методом термообработанных глинистых сланцев с применением клинкеров полученных из отходов производств. Научный журнал «Механика и технологии». №2(88). Тараз, 2025г. С.165-180;

4. Amiraliyev B., Taimasov B., Kuandykov A., Potapova E., Ainabekov N. Modern trends in the development of cement production. Научный журнал «Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева». Серия «Технические науки и технологии», №2 (151). Астана, 2025. С. 38-58.

5. Амиралиев Б.Б., Куандыкова А.Е., Абдуллин А.А., Таймасов Б.Т. Потапова Е.Н. Применение АМД при получении композиционных и специальных портландцементов цементов с использованием отходов промышленности. *Energiya va resurs tejankor binolar qurilishida, zamonaviy qurilish materiallari va texnologiyalari*. Fergana, 2024 г. I-Том №2, S.327-330.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 151 страницах машинописного текста, включая 11 таблиц и 41 рисунков. Структура работы состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 104 источника и 8 приложений.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.2 Тенденции экологичного малоэнергоемкого развития технологий цементного процесса

Еще в 2021 году на саммите страны G20 высказали намерение прекратить выбросы парниковых газов к середине XXI века [14]. Страны намерены до 2030 года сформулировать долгосрочные стратегии для достижения нулевых выбросов. Лидеры G20 призвали удержать изменение климата на уровне 1,5 градуса, но это потребует «значимых и эффективных действий и приверженности со стороны всех стран».

Heidelberg Cement запускает пилотный проект по улавливанию CO₂ [15]. Проект ACCSESS реализуется в консорциуме с норвежской Sintef Energi AS, которая возглавляет сообщество. В состав консорциума входит 18 партнеров. Цель проекта - значительно сократить расходы, возникающие при цепочке создания стоимости CCUS (Carbon Capture, Use And Storage – улавливание, использование и хранение выбросов CO₂) и разработать транспортные системы, чтобы оптимизировать доставку выбросов CO₂ из материковой Европы к зонам хранения CO₂ в Скандинавии, в Северном море. В рамках проекта ACCSESS Heidelberg Cement станет первой компанией, которая начнет использовать CCUS в Восточной Европе, запустив новую технологию улавливания CO₂ на своем цементном заводе в Гураждже (Польша). Установка по улавливанию выбросов позволяет шире использовать тепло отработанных газов и упрощает контроль за вторичными выбросами.

В Узбекистане с целью изучения влияния промышленных предприятий на экологию на ряде цементных заводов установлены автоматические системы отслеживания выбросов. На АО «Ахангаран цемент», расположенном в Ташкентской обл., создан «стационарный наблюдательный пункт». Это служит важным фактором для снижения воздействия промышленных предприятий на экологию прилегающих территорий [16].

Компания Heidelberg Materials представила в Европе первый в мире цемент с нулевым углеродным следом под новым брендом evo Zero [17]. Компания evo Zero обеспечивает нулевой уровень воздействия на окружающую среду благодаря применению технологии улавливания и хранения углекислого газа на заводе Heidelberg Materials в Бревике. Технология улавливания и хранения CO₂ не изменяет существующий процесс получения цемента, химический состав и характеристики цемента остаются прежними. Поэтому технология с нулевым углеродным следом включает весь ассортимент цемента от CEM-I до CEM-III. Установка на цементном заводе в Бревике является первым в мире устройством по улавливанию CO₂ в промышленных масштабах. Завершение строительства объекта запланировано на конец 2024 года. После ввода в эксплуатацию будет улавливаться и храниться 400 000 тонн CO₂ в год, что соответствует 50

% выбросов завода и эквивалентно выводу из эксплуатации около 180 000 автомобилей.

На британском заводе Gauldon [18] будут использовать 20 тысяч т отходов керамики и производственного лома в качестве альтернативного сырья в производстве цемента. Вторично использованная керамика заменит частично природный сланец.

Цемент является наиболее распространенным строительным материалом. Его использование известно с 5 Век до нашей эры, когда в качестве вяжущего вещества применяли известь. Лишь около двухсот лет назад изобретен новый, уникальный вид вяжущего – портландцемент, объем производства которого сегодня достигает примерно 4 млрд т.

За последнее столетие бетон совершил настоящую революцию в мировой строительной отрасли. Сегодня бетонные сооружения играют решающую роль в обеспечении жильем растущего населения, развитии транспортной инфраструктуры на суше, море и в воздухе, в энергетике, промышленности и системах защиты. Без бетона на основе портландцемента было бы невозможно строительство автомобильных и железных дорог, мостов, плотин, высотных зданий и небоскрёбов, а также возведение любых железобетонных конструкций. В наше время бетон и цементные растворы по-прежнему остаются доступными, прочными и энергоэффективными строительными материалами.

Процесс производства цемента сопровождается значительными выбросами CO_2 – парникового газа. Это связано с тем, что основным сырьём для получения цементного клинкера служат карбонатные породы, которые при термическом разложении выделяют углекислый газ. Дополнительно, для достижения высоких температур, необходимых при обжиге клинкера, требуется значительное количество топлива, сжигание которого также приводит к образованию CO_2 .

По оценкам, цементная промышленность отвечает примерно за 7–8 % всех антропогенных выбросов CO_2 в мире. С ожидаемым ростом численности населения Земли до 9,8 млрд человек к 2050 году спрос на цемент будет продолжать расти, так как к этому времени около 68 % людей будут жить в городах. Если человечество намерено придерживаться своих климатических целей, вопрос сокращения этих выбросов станет особенно актуальным [1, 19].

С 1 января 2019 года Всемирный деловой совет по устойчивому развитию передал Глобальной ассоциации производителей цемента и бетона руководство «Инициативой по устойчивому развитию цементной промышленности». Основное внимание в деятельности CSI сосредоточено на вопросах снижения углеродного следа в цементной отрасли. [1, 20]. Все участники CSI постоянно работают над сокращением выбросов CO_2 на своих предприятиях, проводят их измерение и отчитываются о результатах, применяя единую методику и согласованные ключевые показатели эффективности (KPI).

Для поддержки этой работы CSI создала глобальную базу данных, содержащую отчёты о выбросах CO₂ и показателях энергоэффективности цементных заводов. Эта добровольная база объединяет стандартизированные, достоверные и проверенные данные, которые помогают отрасли оценить текущий уровень эффективности и возможности для дальнейшего развития.

Европейское бюро цементной промышленности разработало Дорожную карту 2050, в которой представлен потенциал снижения выбросов CO₂ на всех этапах цепочки создания стоимости цемента и бетона.

Ключевой вывод стратегии состоит в том, что достижение нулевого уровня чистых выбросов CO₂ к 2050 году возможно при реализации мер на каждом этапе производственной цепочки — от выпуска клинкера и цемента до производства бетона, строительных процессов и (повторной) карбонизации. Европейское бюро цементной промышленности Cembureau подготовило Дорожную карту [1, 21, 22].

Основные направления сокращения выбросов CO₂ [1, 21] (рисунок 1):

1. Снижение выбросов при производстве клинкера.

Уменьшение выбросов CO₂ достигается за счёт использования декарбонизированного сырья, повышения энергоэффективности, применения альтернативных видов топлива вместо ископаемых, а также внедрения инноваций — таких как использование водорода и электрификация печей.

Замена части известняка в сырьевой смеси декарбонизированными материалами позволяет снизить общие выбросы от процесса декарбонизации известняка. Ожидается, что в мировом масштабе это обеспечит сокращение выбросов сектора примерно на 2 %.

Альтернативное топливо, получаемое из отходов и побочных продуктов (ископаемое или смешанное), будет использоваться всё активнее: с 6 % сегодня до 43 % к 2050 году. Применение водорода и электрификации печей начнёт играть заметную роль примерно с 2040 года.

2. Сокращение расхода цемента и вяжущих материалов.

Для снижения выбросов CO₂ при производстве бетона используются зола-унос, доменный гранулированный шлак, молотый известняк и другие добавки. Эффективность этого подхода выражается через отношение клинкера к вяжущему. Однако доступность золы-уноса и шлака в мире постепенно снижается.

В ближайшие десятилетия основное внимание будет уделено применению молотого известняка и кальцинированных глин для замещения этих материалов и уменьшения доли клинкера в цементе. В среднем по миру клинкер-фактор составляет 0,63, и ожидается его снижение до 0,58 к 2030 году и до 0,52 к 2050 году.

3. Повышение эффективности производства бетона.

Индустриализация производства — ключевой фактор снижения выбросов. Переход от мелкосерийного замеса с использованием мешкового цемента к промышленным технологиям обеспечивает значительное

сокращение выбросов CO₂ благодаря точному соблюдению рецептур и контролю качества.

Дополнительные возможности для снижения выбросов связаны с оптимизацией состава бетонной смеси, применением добавок и улучшенной обработкой заполнителей. В среднем по миру такая оптимизация позволит сократить потребление вяжущих на 5 % к 2030 году и на 14 % к 2050 году.

4. Улавливание, использование и хранение углерода (CCUS).

Это относительно новое направление, значимый вклад которого ожидается после 2030 года, когда появятся экономически и технологически жизнеспособные решения. Уловленный CO₂ может использоваться в цементной и бетонной промышленности, других отраслях или храниться в геологических формациях. К 2050 году планируется улавливать и использовать до 1,37 млрд тонн CO₂.

5. Декарбонизация электроэнергии.

В будущем выбросы от генерации электроэнергии, используемой при производстве цемента и бетона, будут сведены к нулю. К 2030 году рост спроса на электроэнергию будет связан с увеличением производства, а к 2050 году – в основном с потребностями систем улавливания углерода. Этот рост будет компенсирован переходом на безуглеродную электроэнергию. В результате выбросы CO₂ снизятся на 54 % к 2030 году и на 100 % к 2050 году (по сравнению с уровнем 2020 года).

6. Рекарбонизация бетона.

Это естественный процесс поглощения CO₂ твердеющим бетоном, который хорошо изучен и учтен в нормативных методиках. Согласно методологии IVL 01, доля рекарбонизации принимается равной 20 % от теоретического максимума (525 кг CO₂/т клинкера), то есть около 105 кг CO₂/т.

По мере снижения доли клинкера в цементе и бетоне объем рекарбонизации также сокращается. В глобальном масштабе её уровень оценивается в 318 млн т CO₂ к 2030 году и 242 млн т CO₂ к 2050 году.

7. Повышение эффективности проектирования и строительства может быть достигнуто за счёт применения ряда конкретных инструментов. Ключевым способом раскрытия потенциала проектирования является включение задачи по снижению выбросов CO₂ в число основных проектных параметров наряду с качеством, стоимостью, сроками и особыми требованиями заказчика.

Такого результата можно добиться путем оптимального выбора геометрии и системы перекрытий из бетонных плит, определения расстояний между колоннами, а также подбора прочности бетона, размеров элементов и степени армирования.

Согласно прогнозам, меры в области проектирования и строительства позволят сократить выбросы CO₂ на 7 % к 2030 году и на 22 % к 2050 году во всех проектах по всему миру.

При отсутствии подобных действий объем выбросов, напротив, может

увеличиться и достичь 3,8 Гт CO₂ к 2050 году [1, 23].

Прогнозные данные указывают, что значительное снижение выбросов ожидается в основном после 2030–2040 годов, главным образом благодаря технологиям улавливания, использования и хранения углерода, а также за счет повышения эффективности проектирования и строительных процессов. Однако технологии требуют больших энергетических затрат, остаются дорогостоящими и приводят к удорожанию цемента.

Для внедрения существующих решений и разработки новых инновационных технологий смягчения воздействия потребуется значительное финансовое обеспечение.

Подходы к сокращению выбросов CO₂ различаются в зависимости от страны, однако в первую очередь следует реализовывать наиболее доступные и технически осуществимые меры.

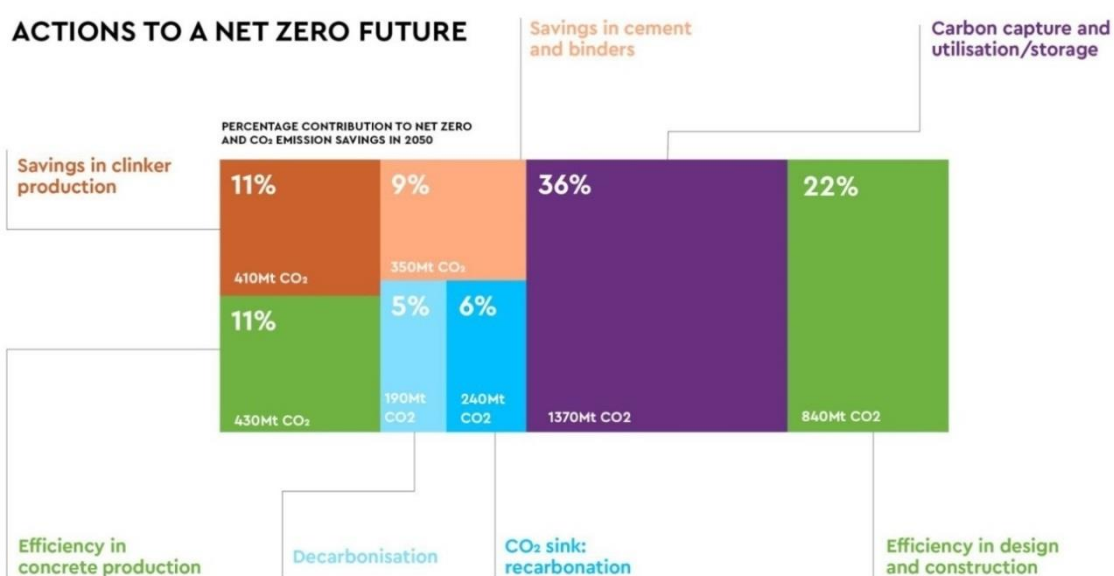


Рисунок 1 – Действия, направленные на достижение чистого нулевого будущего [1, 23]

Республика Казахстан (РК), как и мировое сообщество, следует принципам Парижского соглашения, направленным на реализацию национального вклада в достижение целей устойчивого развития и сдерживание роста глобальной средней температуры. В этой связи страна предпринимает меры по реализации государственной экологической политики, направленные на снижение негативного воздействия на окружающую среду и сохранение природных ресурсов для будущих поколений [1, 2, 3, 5, 24].

Одним из эффективных путей сокращения выбросов углекислого газа, возникающих при производстве портландцементного клинкера, является использование активных минеральных добавок. Это позволяет уменьшить долю клинкера в составе цемента и, соответственно, снизить объем выбросов CO₂ в атмосферу. Разработка эффективных составов композиционных цементов, в которых часть дорогостоящего клинкера заменяется

минеральными добавками, является актуальной задачей, стоящей перед цементной промышленностью. Проблема снижения выбросов CO₂ носит глобальный характер и вызывает серьезную обеспокоенность во всех странах мира – от Европы и США до Китая [1, 5–8, 25–26].

Страны мира используют различные подходы к уменьшению выбросов парниковых газов, однако на первом этапе наиболее рационально внедрять технологические решения, которые можно реализовать без значительных затрат.

Так, в соответствии с утвержденным Правительством Республики Казахстан Национальным планом распределения углеродных квот на 2022–2025 годы и Экологическим кодексом Республики Казахстан от 9 января 2007 года (подпункт 7 статьи 16), общий объем квот на выбросы парниковых газов по регулируемым отраслям составляет 108,8 млн тонн, включая квоты для обрабатывающей промышленности – в частности, для производства строительных материалов. Среди них установлены и квоты на выбросы CO₂ для цементных заводов составляют на 2022 год 6,02 млн. тонн; 2023 год – 5,55 млн. тонн; 2024 год – 5,5 млн. тонн; 2025 год – 5,2 млн. тонн [5]. Объем квот, выделенных предприятиям цементной промышленности на 2023-2025 годы, представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Объемы квот на выбросы CO₂ для цементных заводов Казахстана до 2025 года

Для каждого цементного предприятия РК установлены свои квоты, которые, вероятнее всего, определяются уровнем выбросов CO₂ на данном

предприятия. Тем не менее, перед всеми предприятиями отрасли стоит задача снижения выбросов CO_2 при производстве цемента тем или иным способом. Поэтому актуальным и не затратным мероприятием может являться получение композиционных цементов с частичной заменой клинкерной составляющей в цементе позволяет поддерживать и увеличивать ежегодный объем производства продукции, столь востребованной в строительной отрасли. Одним из эффективных путей повышения энергоэффективности и улучшения экологических показателей цементного производства является использование отходов и замещение части дорогостоящего клинкера природными материалами или искусственными, т.е. природными или техногенными добавками, получение низкоклинкерных цементов [24-26]. Добавки доступны не во всех регионах, где расположены цементные заводы. Наиболее доступными на сегодняшний день являются пуццоланы, доменные и фосфорные шлаки, золы и другие материалы. Основная задача исследователей заключается в поиске, расширении ассортимента и увеличении объёмов качественных минеральных добавок. При этом важно, чтобы данные материалы находились в непосредственной близости от цементного производства, чтобы сократить логистические затраты.

Один из способов сократить объем вредных выбросов, в частности углекислого газа, образующегося при производстве портландцементного клинкера, заключается в применении активных минеральных добавок, позволяющих уменьшить долю клинкера в составе цемента. Таким образом, важно разрабатывать эффективные композиционные цементы, где часть дорогостоящего клинкера заменяется этими добавками. Сокращение содержания клинкера напрямую ведет к снижению выбросов CO_2 в атмосферу. Данная проблема является актуальной во всем мире и вызывает серьезную обеспокоенность в Европе, США, Китае и других странах планеты [1, 27, 28].

В последние годы мировая цементная промышленность уделяет большое внимание минеральным добавкам. Это не новое направление, потому что в течение нескольких десятилетий стандарты разрешали использование в качестве добавок известняка, шлаков, пуццоланы и золы, и пыли. Повторный интерес к оптимизации применения этих материалов сегодня можно считать весьма актуальным. Введение дополнительных сырьевых компонентов, таких как минеральные добавки, способствует не только снижению себестоимости цемента (так как в большинстве случаев они значительно дешевле клинкера), но и сокращению удельных выбросов CO_2 . [1, 29, 30].

Повторный интерес к рациональному использованию этих материалов сегодня можно считать весьма актуальным. Применение дополнительных сырьевых компонентов, таких как минеральные добавки, позволяет не только снизить себестоимость цемента (так как они обычно значительно дешевле клинкера), но и сократить удельные выбросы CO_2 [1, 30-32].

Потапова Е.Н. и др. [33] исследовали пуццолановую активность трех минеральных добавок – метакеолина, трепела и кремнегеля различными методами определения пуццолановой активности. Установлено, что наивысшую активность по поглощению извести из известкового раствора показал метакеолин. Полученные авторами результаты определения активности добавок экспресс - методом, хорошо коррелируют с результатами по методу Фраттини. Предлагаемые авторами экспресс-методы определения активности, разработанные Строковой В.В. с соавторами, можно использовать не только для высокоактивных АМД, но и для менее активных АМД. В этом случае возможно использование классического метода.

Мечай А.А. и др. [34] предлагают вводить в цемент дегидратированую глину, а в качестве карбонатной породы предложен доломит. Авторами определена пуццолановая активность минеральных добавок четырех белорусских месторождений. С целью увеличения пуццолановой активности авторы проводили термообработку минеральных добавок. В результате экспериментов выявлено, что наибольшую пуццолановую активность имеют глины месторождения «Лукомль», термообработанные при температуре 900°C.

Якубжановой З.Б. [35] исследованы химико-минералогические, физико-химические и технологические свойства глиежеподобной горной массы и андезибазальта, на базе которых разработаны составы гибридных добавок «глиеж + фосфозол» и «глиеж + андезибазальт» с высоким содержанием глиежа (до 20 %). Изучены физико-механические свойства портландцемента при замене до 30 % клинкера на гибридные добавки. Показана возможность получения новых видов композиционных портландцементов марок ПЦ400-КД30 с гибридными добавками с высоким содержанием глиежа за счет направленного регулирования процесса гидратации, синтеза кристаллических продуктов и формирования плотного низкопористого композита.

Юлдашев Ф.Т. [36] предложил для улучшения экологической обстановки в производстве цемента использовать техногенные отходы, в частности активную минеральную добавку «Фосфозол» и золошлаковые отходы до 20 % масс.

Мухиддинов Д.Д. [37] предложил комплексные добавки, включающие микрокремнезем и золошлаки. При дозировке более 25 % прочность полученных цементов не снижается.

Атабаев Ф.Б. [38] провёл исследование гидравлической активности сырьевых материалов с целью оценки их пригодности для использования в качестве активной минеральной добавки, частичной замены клинкерной составляющей и повышения эксплуатационных характеристик цементов. В качестве гидравлических добавок использовались некондиционные литейные шлаки машиностроительной и металлургической промышленности (Бекабадский металлургический завод), а также мелкие отходы содовых производств, получающиеся при гашении извести совместно отходами мраморного

производства, применяемые в качестве заполнителей. Установлено, что введение 10 % масс мрамора в состав шлаковых цементов, увеличивает их прочность.

Черкасов В.Д. и др. [39] разработали эффективные активные минеральные добавки на основе химически модифицированного диатомита, исследовали процессы гидратации и структурообразования цементных композитов с добавкой модифицированного диатомита.

Konap K.L. и др. [40] исследовали процессы получения, гидратации и твердения композиционных цементов с добавками метакаолина, каолина и др.

Sivkov S.P. и др. [41] изучили термодинамическую активность соединений в портландцементных растворах, твердеющих при карбонизации и гидратации, а также рассчитали уровень парциального давления CO_2 и установили активность карбонизации CO_3^{2-} в минеральных соединениях. Авторами установлено, что соединения способны карбонизироваться под действием сухого или влажного углекислого газа с образованием карбонатов кальция.

Дмитриева Е.А., Потапова Е.Н. и др. [42] изучали влияние добавок термообработанных глин на прочностные характеристики портландцемента. В работе исследуются различные температурные режимы обработки глин с целью их активации и повышения пуццоланической активности. Авторы анализируют, как введение модифицированного глинистого наполнителя изменяет кинетику гидратации и фазовый состав цементного камня, а также влияет на его конечную прочность при сжатии и изгибе. Результаты исследования позволяют определить оптимальные условия использования термообработанных глин в качестве эффективного минерального компонента для улучшения эксплуатационных свойств цементов.

Bashmakov I.A. и др. [43] в своей работе рассматривает перспективы декорбанизации технологических процессов и продукции цементной промышленности. Проанализированы удельные выбросы парниковых газов при производстве цемента в различных странах. Авторы показывают результаты бенчмаркинга, формируют систему координат для обоснования целей и задач совершенствования систем экологического и энергетического менеджмента в производствах, для предприятий претендующих на льготное кредитование или меры государственной поддержки.

Potapova E.N. и др. [44] в своей работе представили основные технологические, технические и организационно - управленческие решения, направленные на сокращение углеродоемкости производства цемента. Рассмотрены особенности формирования промышленных экосистем, позволяющих решать сложные межотраслевые задачи развития промышленности.

Rocha J.H.A. и др. [45] исследовали возможность использования устойчивых альтернатив, таких как энергоэффективность, устойчивое топливо, улавливание и использование CO_2 , эффективность использования

цемента и замена клинкера минеральными добавками или дополнительными материалами.

Lochana Poudyal [27] предлагают комплексный подход по улучшению экологической обстановки в промышленных процессах, таких как: улавливание и хранение углерода, использование дополнительных цементных материалов, в качестве частичной замены цемента и использование нанотехнологий.

Smolskaya E.A. и др. [46] в своей работе рассмотрели влияние термоактивированных глин на свойства портландцемента. Авторами установлено, что термоактивированные глины могут заменить до 25 % портландцементного клинкера без потерь прочности и качества цемента, это позволило снизить выбросы углекислого газа при производстве цемента.

Ram K. и др. [47] исследовали влияние концентрации каолинита из двух отдельных глин (собранных на Востоке и Юго-Восточной Европы) на долговечность бетона. Глина с низким содержанием каолинита содержала 18 % каолинита, в то время как глина со средним содержанием каолинита содержала около 41 % каолинита. Авторами доказано, что содержание каолинита оказывает умеренное влияние на прочность при сжатии, но оказывает значительное влияние на другие показатели долговечности.

Искандарова М.И., Атабаев Ф.Б., Турсунова Г.Р. [48] исследовали возможность использования термообработанного мергеля в качестве активной минеральной добавки при получении цементов. Установлено, что гидравлическая активность мергеля, термообработанного при 500 °С, при полученном значении $t = 23,10 > 15$, согласно требованиям стандарта ÖZMST 336 обладает высокой гидравлической активностью и может применяться в качестве активной минеральной добавки к цементу.

Искандарова М.И., Якубжанова З.Б., Бегжанова Г.Б. [49] изучили влияние гибридных активных минеральных добавок глиежеподобного горного массива и андебазальта вулканических горных пород Карахтаского проявления на генетическое развитие новообразований при твердении цементов. Установлено, что гидравлическая активность глиежеподобного горного массива, определенная по критерию Стьюдента была высокая ($t = 37,8$), а для андебазальта низкая ($t = 3,23$). Замена 25 % клинкера при вводе оптимального сочетания предлагаемых добавок позволило получить цемент с активностью 40,4 МПа.

Рустамов Ш.Ш. и др. [50] исследовали возможность повышения активности минеральных добавок, за счет термоактивации минеральных добавок, таких как отход флотации медно-молибденовых руд, обработанных при температурах от 700 до 900 °С и интервалами выдержки до 3 часов при максимальных температурах. Авторами установлено, что максимальная активность для термообработанного флотоотхода достигается при температуре 800 °С и составляет 14,83 мг/г.

Корнеев В.И. и др. [51, 52] в своих исследованиях рассматривали основные этапы развития гидравлических вяжущих веществ, а также их

дальнейшие перспективы развития. Далее они представили ключевые данные и результаты своих работ по геополимерам, которые выступают в качестве общеструктурных связующих материалов, иногда в сочетании с портландцементом.

В своих исследованиях Р.З. Рахимов и др. [53] изучали влияние обожжённой и измельчённой многоминеральной глины на прочностные свойства цементного камня. В работе также затрагивались вопросы ресурсо- и энергосбережения, а также создания устойчивого производства экологических вяжущих материалов.

Следовательно, замещение значительных объёмов клинкера возможно за счёт расширения номенклатуры минеральных добавок, включая природные пуццоланы и активированные глины. Глины являются распространённым и экономически доступным сырьём, подходящим для использования в качестве добавок в композиционных вяжущих. Мелкодисперсная обожжённая глина, известная как цемянка или глинит, традиционно используется с древних времён. Глинит получают путём измельчения обожжённых глин, термически обработанных в температурном диапазоне 600 - 800 °С [54, 55, 56].

Представленные результаты показывают, что композиционные цементы достаточно широко распространены во многих разных странах мира использование таких технологий позволяет производителям значительно снижать затраты на дорогостоящий клинкер, одновременно сокращая выбросы углекислого газа. В связи с этим можно выделить следующие положения:

1. Одним из наиболее актуальных и распространённых направлений, способствующих устойчивому производству портландцемента, энергосбережению и решению экологических задач, является частичная замена клинкера природными активными минеральными добавками.

2. Портландцемент, содержащий активные минеральные добавки, представляет собой современный, легко производимый и востребованный материал.

3. Разработка композиционных цементов направлена не только на снижение себестоимости и улучшение экологической обстановки, но также на повышение качества конечной продукции и рациональное использование местных сырьевых ресурсов.

На цементных заводах Казахстана ТОО «Гежуба Шиели Цемент», ТОО «Семей цемент», ТОО «Каспий цемент» и др. при выпуске композиционных цементов ЦЕМ II/A-K, ЦЕМ II/B-K используют гранулированные шлаки, сланец, известняк, зола-унос, [57, 58]. Глинистые сланцы на территории Республики Казахстан достаточно распространены, однако на данный момент их используют в качестве сырьевых (алюмосиликатных) компонентов при получении портландцементного клинкера.

Термообработанный глинистый сланец достаточно эффективен и применяется как активная минеральная добавка на ряде зарубежных

предприятий. АМД частично заменяют клинкер, способствуют повышению прочности портландцемента, а также положительно влияют на процесс помола клинкера и формирование структуры твердеющего цементного камня.

Выводы по обзору литературы

Глобальная доминанта и консолидация рынка: Мировой рынок цемента демонстрирует устойчивый рост (до 3,7 млрд. тонн в 2023 году) и ярко выраженную географическую тенденцию к смещению производства в развивающиеся регионы, на долю которых приходится 87 % мирового объема. Ведущие транснациональные корпорации продолжают стратегию горизонтальной и вертикальной консолидации (слияния, поглощения, интеграция в производство бетона и заполнителей) для удержания и увеличения доли рынка.

Актуальность устойчивого развития: В свете глобальных экологических требований и необходимости сокращения выбросов CO₂, ключевым стратегическим направлением для всей цементной промышленности становится устойчивое производство и энергосбережение.

Ключевой технологический тренд – замещение портландцементного клинкера: Наиболее актуальным и эффективным подходом для достижения целей устойчивого развития является замена части портландцементного клинкера активными минеральными добавками. Данные исследования направлены не только на снижение себестоимости и улучшение экологической ситуации, но и на обеспечение высокого качества и прочности конечной продукции.

Потенциал местного сырья: Глинистые сланцы, широко распространенные на территории Республики Казахстан, в настоящее время используются лишь как сырьевые компоненты для портландцементного клинкера. Обзор подтверждает, что термообработанный глинистый сланец является высокоэффективной АМД, способной замещать клинкер и оптимально влиять на процессы помола и формирование структуры твердеющего цементного камня.

Обоснование научной задачи: Учитывая практику зарубежных заводов и наличие доступных местных запасов глинистых сланцев, существует научно-техническая необходимость в проведении исследований по разработке технологии использования термически активированных глинистых сланцев Казахстана в качестве АМД для производства композиционных цементов, что позволит использовать местное сырье и обеспечить конкурентоспособность отечественной продукции.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристика применяемых сырьевых материалов

Глинистые сланцы представляют собой метаморфические горные породы, сформированные в результате процесса динамометаморфизма – преобразования исходных тонкодисперсных глинистых отложений под воздействием высокого литостатического давления.

Процесс динамометаморфизма приводит к уплотнению исходных глинистых пород и их частичной или полной перекристаллизации. Это обуславливает их сланцевую текстуру, характеризующуюся параллельным расположением новообразованных или реликтовых (остаточных) минеральных агрегатов. В слабо метаморфизованных образцах сохраняются скрытокристаллические и переходные структуры, несущие признаки исходного (реликтового) минерального состава [56].

Как видно из рисунка 3 глиняные сланцы состоят преимущественно из тонкодисперсных глинистых минералов (филлосиликатов) с существенной примесью кварца. Цвет варьируется от светло-зеленого до серого, часто с включениями коричневого цвета, что определяется составом минеральных пигментов и примесей.



Рисунок 3 – Глиняные сланцы

Ключевым отличительным признаком глинистых сланцев является их сланцевая структура, которая предопределяет анизотропию физических свойств и способность к легкому расщеплению на тонкие пластины или колонны при механическом воздействии.

При контакте с водой порода издает характерный глинистый или жерловой запах, что связано с присутствием физически связанной влаги в микропористой структуре глинистых минералах.

Анизотропия и состав определяют пригодность сланцев в качестве сырья или активных добавок в строительной индустрии после соответствующей термической или механической активации.

2.2 Методы исследования

2.2.1 Растровый сканирующий электронно-микроскопический анализ

Исследование глинистых сланцев в роли минеральной добавки выполнялось в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ 25094-2015 и ГОСТ 5382-2019, [59, 60]. Из полученных образцов были выделены усреднённые пробы путем четвертования. Глинистые сланцы изучались с помощью РЭМ, РФА, ДТА и спектроскопических методов.

Методика растровой электронной микроскопии и энергодисперсионного анализа. Химический состав и микроструктура исследуемых материалов определялись с использованием растрового электронного микроскопа.

Анализ осуществлялся на многоцелевом растровом электронном микроскопе JSM-6490LV (JEOL, Япония), оснащённом следующими ключевыми системами:

Энергодисперсионный микроанализатор INCA Energy: Используется для количественного и качественного определения элементного химического состава образцов в локальных областях.

Система структурного анализа HKL-Basic: Применяется для исследования кристаллической структуры и текстуры материалов.

Технические характеристики установки: Термоэмиссионный (обеспечивает высокую стабильность и яркость луча). Режимы работы - стандартный и низковакуумный (позволяет анализировать непроводящие образцы без напыления). Увеличение от $\times 5$ до $\times 300000$ раз, ускоряющее напряжение 0,3–30 кВ, разрешающая способность до 3,0 нм (при ускоряющем напряжении 30 кВ). Размер образца возможность исследования относительно крупноразмерных образцов (высота до 45 мм, диаметр до 200 мм).

Данное оборудование позволяет проводить высокоточное исследование морфологии, микроструктуры и элементного химического состава как исходного сырья, так и полученных продуктов гидратации цементного камня [59].

Усредненный химический состав сырьевых материалов представлен в таблице 1.

Результаты анализа с помощью растровой электронной микроскопии ЦЕМ I 42,5Н и глинистых сланцев Мынаральского месторождения и месторождения Куюк представлены на рисунках 4, 5 и 6

Таблица 1 – Усредненные химические составы сырьевых материалов

Наименование	Химический состав, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃ (FeO)	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃
ЦЕМ I 42,5Н	18,56	3,29	55,09	3,06	0,41	1,26	1,50	0,05
Глинистый сланец мынаральского месторождения	70,42	10,39	5,39	10,65	1,59	0,74	0,74	-
Глинистый сланец месторождения Куюк	53,85	16,65	6,52	12,93	1,65	2,56	4,15	-
Двуводный гипс	0,12	0,1	38,19	-	сл.	-	1,86	49,54

Element	Weight, %	Formula	Connection, %
O	44.13		
Na	0.31	Na ₂ O	0.42
Mg	0.90	MgO	1.51
Al	1.74	Al ₂ O ₃	3.28
Si	8.69	SiO ₂	18.55
P	0.13	P ₂ O ₅	0.28
S	1.45	SO ₃	1.74
K	1.04	K ₂ O	1.27
Ca	39.37	CaO	55.08
Ti	0.11	TiO ₂	0.18
Fe	2.13	Fe ₂ O ₃	3.05
Total	100		
Comments: CEM I 42.5N			

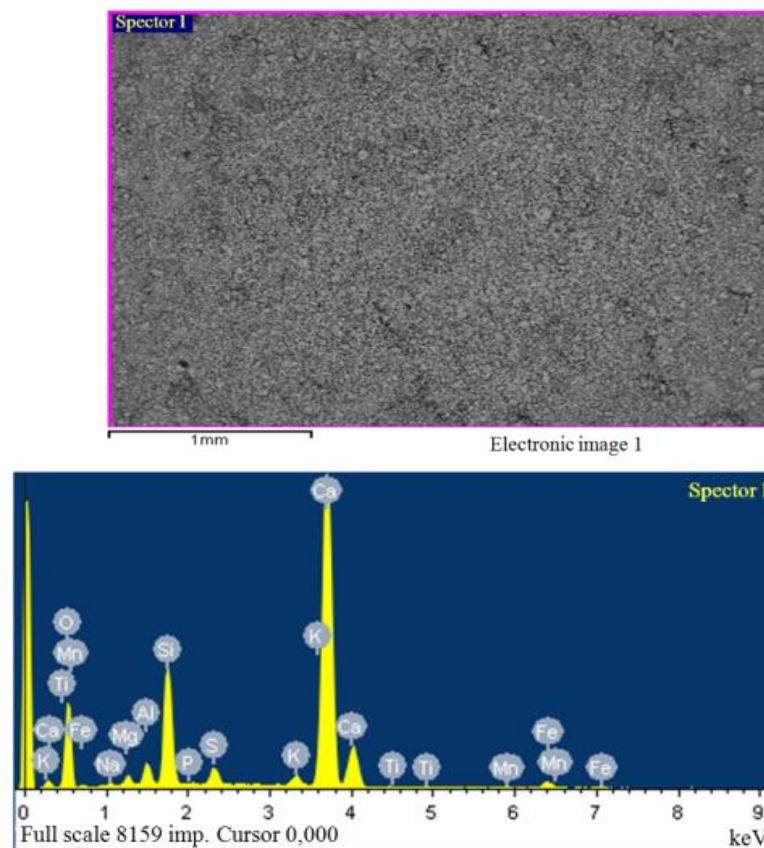


Рисунок 4 – Химический состав, структура и локальный рентгеноспектральный анализ портландцемента ЦЕМ I 42,5Н

Element	Weight, %	Formula	Connection, %
Na	1.19	Na ₂ O	1.6
Mg	2.55	MgO	0.75
Al	8.79	Al ₂ O ₃	10.38
Si	25.25	SiO ₂	70.41
K	2.09	K ₂ O	0.75
Ca	4.69	CaO	5.38
Ti	0.57	TiO ₂	0.96
Mn	0.22	MnO	0.21
Fe	10.03	FeO	10.64
Cu	0.33	CuO	0.41
O	44.28		
Total	100		

Comments: Clay shale from the Mynaral deposit

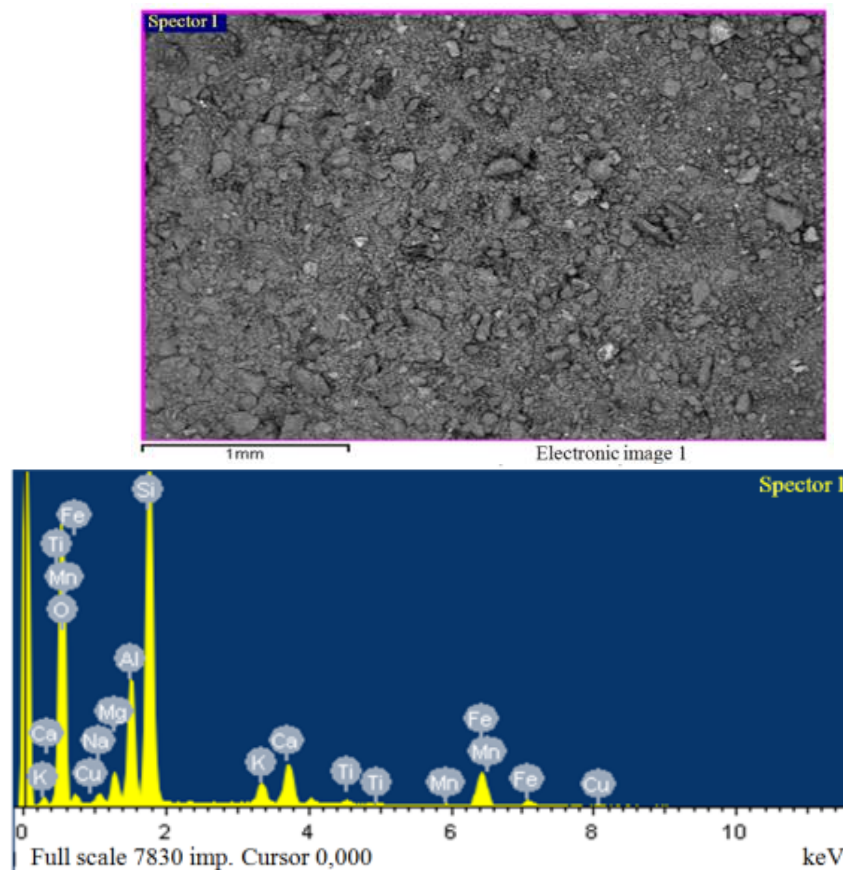


Рисунок 5 – Химический состав, структура и локальный рентгеноспектральный анализ глинистого сланца Мынарал

Element	Weight, %	Formula	Connection, %
Na	1.22	Na ₂ O	1.65
Mg	2.52	MgO	4.17
Al	8.82	Al ₂ O ₃	16.67
Si	25.18	SiO ₂	53.87
K	2.12	K ₂ O	2.56
Ca	4.66	CaO	6.52
Ti	0.59	TiO ₂	0.98
Mn	0.20	MnO	0.26
Fe	10.05	FeO	12.93
Cu	0.31	CuO	0.39
O	44.32		
Total	100		

Comments: Clay shale from the Kuyuk deposit

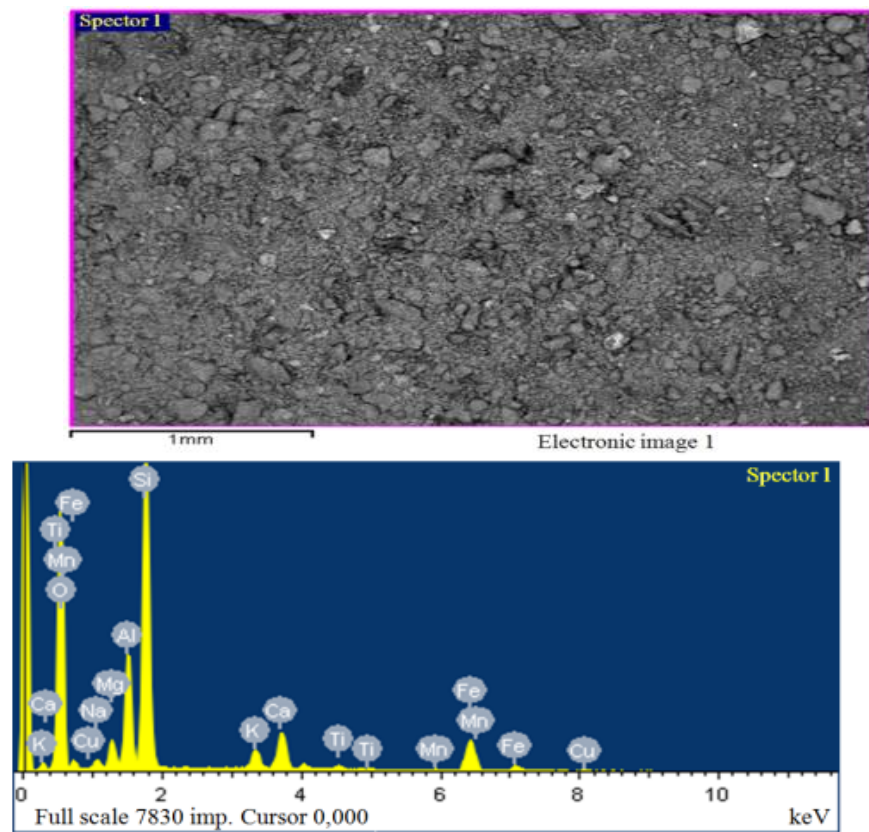


Рисунок 6 – Химический состав, структура и локальный рентгеноспектральный анализ глинистого сланца Куюк

2.2.2 Рентгенофазный анализ

Рентгенографический анализ представляет собой совокупность инструментальных методов, основанных на явлении дифракции рентгеновского излучения на кристаллической решетке исследуемого вещества. В результате интерференции лучей, отраженных упорядоченными атомными плоскостями, формируются дифракционные максимумы, которые регистрируются детектором как функция угла рассеяния (2θ).

Качественный рентгенофазовый анализ (РФА): Направлен на идентификацию кристаллических фаз в образце на основе уникального набора межплоскостных расстояний (d) и относительной интенсивности соответствующих им дифракционных линий.

Количественный РФА: Используется для определения соотношения различных кристаллических фаз в смеси, а также для оценки средних размеров кристаллитов и анализа внутренних напряжений и текстуры материалов.

Минералогический состав исходного сырья и продуктов гидратации цементного камня определялся методом РФА на универсальном рентгенографическом аппарате ДРОН-3.

Исследования выполнены с использованием научного оборудования лаборатории испытательного центра «ИРЛИП» Южно-Казахстанского университета имени М.Ауэзова.

Для возбуждения дифракции использовалась рентгеновская трубка типа 1,5 БСБ 23 – Cu, генерирующая $\text{CuK } \alpha$ -излучение.

Регистрация дифракционных максимумов осуществлялась с помощью гониометрической установки, обладающей следующими ключевыми параметрами:

Фиксированное расстояние от центра образца до детектора составляло 192 мм. Эта константа используется для расчета межплоскостных расстояний (d) по уравнению Вульфа-Брэгга.

Перемещение детектора осуществлялось ступенчато с доступными шагами: $0,01^\circ$; $0,02^\circ$; $0,05^\circ$; $0,10^\circ$; $0,20^\circ$; $0,50^\circ$; $1,00^\circ$. Выбор минимального шага ($0,01^\circ$ или $0,02^\circ$) использовался для прецизионного определения положения и разрешения узких дифракционных пиков.

Угловое положение максимумов (2θ) фиксировалось по гониометрической шкале, а интенсивность регистрировалась потенциометром, формируя итоговую дифрактограмму [60].

Рентгенофазовый анализ портландцемента ЦЕМ I 42,5Н (рисунок 7) подтвердил, что в его составе присутствуют следующие основные минералы и двуводный гипс: алит $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$: d/n – 2,79; 2,77; 2,57; 2,25; 2,97; 1,73; 3,05 Å; белит $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$: d/n – 2,79; 2,77; 2,31; 2,43; 2,86; 1,82; Å; четырехкальциевый алюмоферрит $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$: d/n – 2,64; 1,82; 1,54; 1,92 Å; трехкальциевый алюминат $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$: d/n – 2,16; 4,09; 1,91 Å; гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: d/n – 2,88; 3,07; 2,69 Å [3, 61, 62, 63].

На рентгенограмме глинистого сланца Мынарал (рисунок 8) зафиксированы следующие дифракционные максимумы: кварц - SiO_2 : d/n – 3,35; 1,814; 1,538 Å; гидрослюда ($\text{K}_{<1}\text{Al}_2[\text{OH}]_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})\cdot n\text{H}_2\text{O}$): d/n – 3,141; 4,42; 1,484; 2,103; 2,546 Å; хлорит $(\text{Mg,Fe})_{6-2x}(\text{Al, Fe})_{2x}[\text{OH}]_8(\text{Si}_{4-2x}\text{Al}_{2x})\text{O}_{10}$: d/n – 7,02; 3,54; 4,68; 1,536 Å; каолинит $(\text{Al}_2[\text{OH}]_4\text{Si}_2\text{O}_5)$: d/n – 7,15; 3,56; 2,49; 2,34 Å; кальцит CaCO_3 : d/n – 3,03; 1,868; 1,913; 2,087 Å; гематит – Fe_2O_3 : d/n– 2,697; 2,519; 1,835; 1,688; 1,484 Å; рутил TiO_2 : d/n– 2,188; 1,664; 3,243; 1,623 Å. Полученная рентгенограмма свидетельствует о полиминеральном составе глинистых сланцев. Минералогический состав глинистого сланца, мас. %: кварц – 26,52, каолинит – 12, кальцит – 7,23, хлорит – 15, гидрослюда – 39,09, рутил – 0,16.

На рентгенограмме глинистого сланца Куюк (рисунок 9) зафиксированы следующие дифракционные максимумы: кварц - SiO_2 : d/n – 3,26; 1,813; 1,539 Å; гидрослюда ($\text{K}_{<1}\text{Al}_2[\text{OH}]_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})\cdot n\text{H}_2\text{O}$): d/n – 3,05; 4,41; 1,483; 2,104; 2,545 Å; хлорит $(\text{Mg,Fe})_{6-2x}(\text{Al, Fe})_{2x}[\text{OH}]_8(\text{Si}_{4-2x}\text{Al}_{2x})\text{O}_{10}$: d/n – 7,04; 3,54; 4,71; 1,538 Å; каолинит $(\text{Al}_2[\text{OH}]_4\text{Si}_2\text{O}_5)$ d/n – 7,14; 3,54; 2,47; 2,35 Å; кальцит CaCO_3 d/n – 3,028; 1,868; 1,913 Å; гематит – Fe_2O_3 : d/n– 2,697; 2,519; 1,835; 1,687 Å, рутил TiO_2 d/n– 3,242; 2,187; 1,687; 1,624 Å. Сланец является полиминеральной породой, в которой присутствуют, %: кварц – 27,29, каолинит – 13, кальцит – 6,49, хлорит – 16, гидрослюда – 36,26, рутил – 0,96 [62, 63].

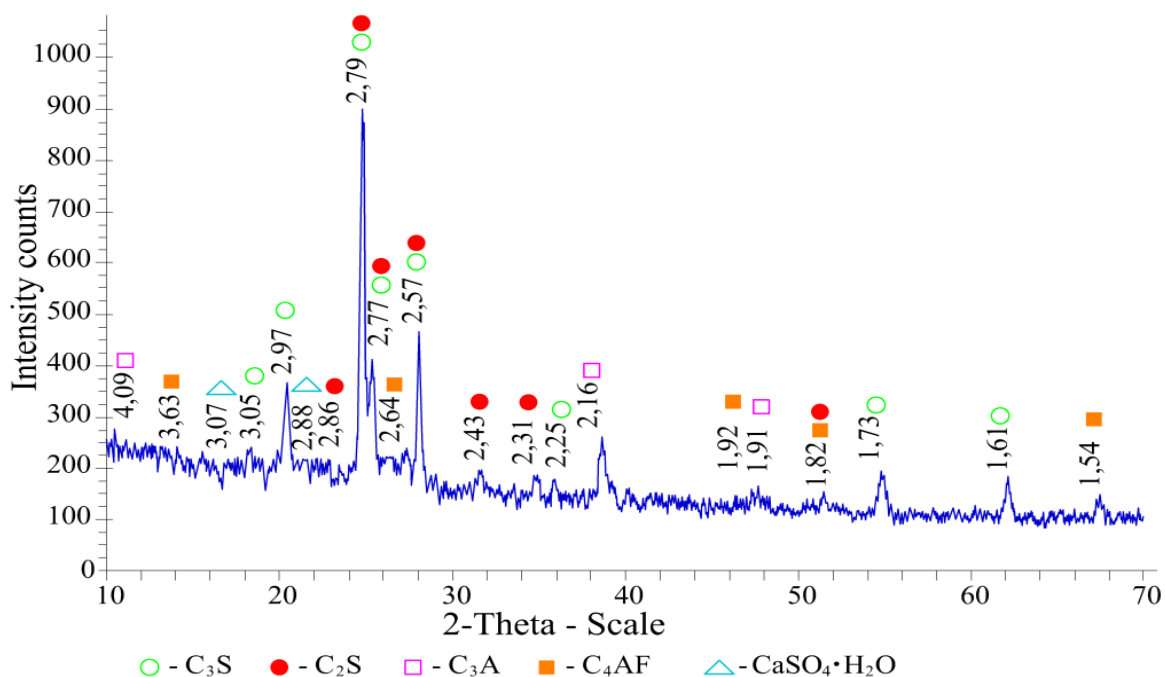


Рисунок 7 – Рентгенограмма портландцемента

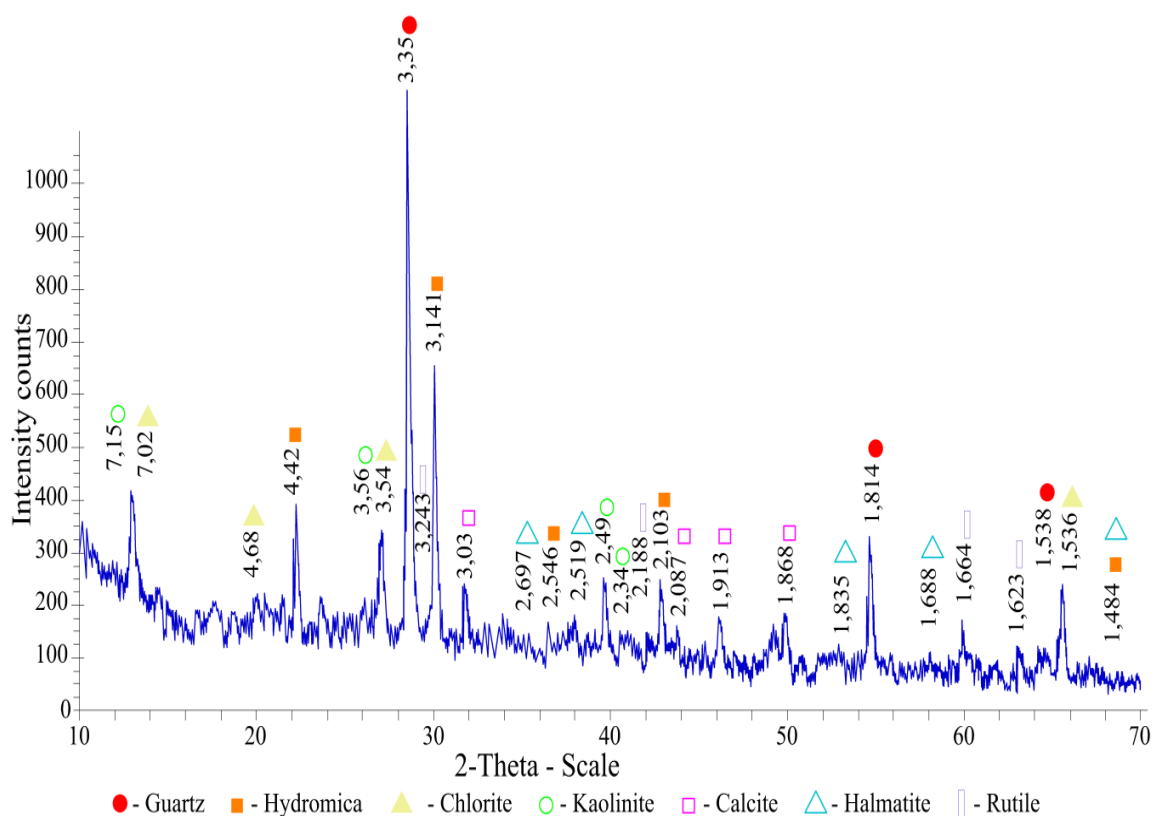


Рисунок 8 – Рентгенограмма глинистого сланца месторождения Мынарал

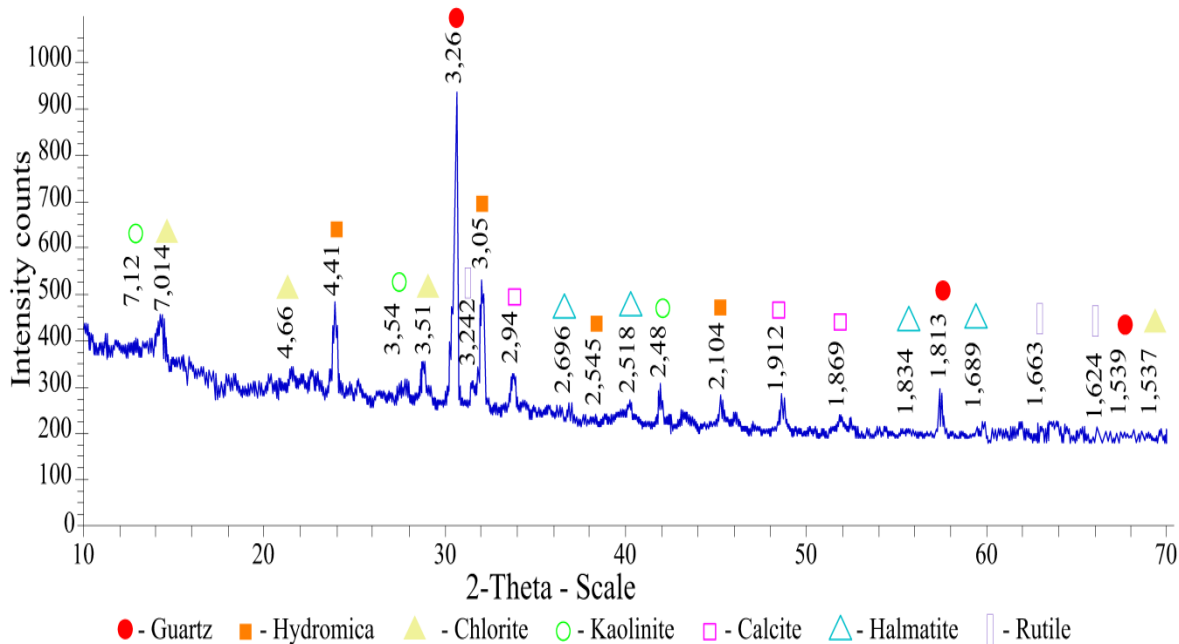


Рисунок 9 – Рентгенограмма глинистого сланца месторождения Куюк

2.2.3 Дифрактометрический анализ исследования структуры вещества

Рентгеновская дифрактометрия (X-Ray Diffractometry, XRD) представляет собой фундаментальный метод структурного анализа, основанный на явлении дифракции рентгеновского излучения на пространственной кристаллической решетке материала. Метод применяется для исследования как поликристаллических, так и монокристаллических образцов, включая объемные материалы и тонкие пленки.

Рентгенофазовый анализ глинистых сланцев и других исследуемых образцов проводился с использованием дифрактометра Bruker AXS D8 (Карлсруэ, Германия). Анод медный (Cu) используется CuK α -излучение, стандартное для анализа цементных материалов, детектор VANTEC PSD высокоскоростной позиционно-чувствительный детектор, обеспечивающий быструю регистрацию дифракционных данных. Диапазон сканирования (2θ) от $5,000^\circ$ до $69,996^\circ$ охватывает область дифракции, достаточную для идентификации большинства минералов клинкера и алюмосиликатных фаз. Шаг сканирования ($\Delta 2\theta$) $0,008^\circ$. Минимальный шаг, обеспечивающий высокое угловое разрешение, необходимое для точного определения положения и разделения близко расположенных дифракционных пиков. Время экспозиции на шаг 182,6 секунд обеспечивает достаточную статистику накопления сигнала, повышая соотношение сигнал/шум и общую достоверность результатов (Рисунок 10).

Данные параметры работы установки гарантируют прецизионность измерений, необходимую для детального анализа фазового состава исследуемых алюмосиликатных материалов и продуктов их взаимодействия.

- Clay - File: Clay.raw - Type: 2 Th/Thlocked - Start: 5.000° - End: 69.996° - Step: 0.008° - Step time: 182.6 s - Operations: Strip kAlpha 2 0.500 | Background 1.000, 1.000 | Import
-  (1) 00-046-1045, quartz - SiO_2 , Y: 27.32 %, d x by: 1. d/n – 3.34; 4.26; 2.45; 2.27; 2.12; 1.813; 1.534; 1.372; 1.380 Å WL: 1.5406, syngony: hexagonal. Unit cell indices: a – 4.91370, b – 4.91370, c – 5.40470. $\alpha = 90$, $\beta = 90$, $\gamma = 120$.
 -  (2) 00-005-0586, calcite - CaCO_3 , Y: 4.40 %, d x by: 1. d/n – 3.029; 1.0444; 1.869; 1.912; 2.088 Å. WL: 1.5406, syngony: rhombohedral. Unit cell indices: a – 4.98900, b – 4.98900, c – 17.06200. $\alpha = 90$, $\beta = 90$, $\gamma = 120$.
 -  (3) 00-042-0018 (C), hydrous aluminosilicate – H – 18.9, Al – 18.9, Si – 173.1, O – 384; Y: 2.71 %, d x by: 1. WL: 1.5406. d/n – 4.41; 1.483; 2.57 Å.
 -  (4) 00-006-0221 (D), kaolinite 1 Md - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, Y: 1.08%, d x by: 1. d/n – 7.14; 3.556; 1.486; 2.330; 1.336 Å. WL: 1.5406, monoclinic syngony. Unit cell indices: a – 5.18000, b – 9.02000, c – 20.04000. $\alpha = 90$, $\beta = 95.5$, $\gamma = 90$.

- ▼ (5) 00-001-0527 (D), kaolinite - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, Y: 2.15 %, d x by: 1. d/n – 7.14; 3.556; 1.486; 2.330; 1.336 Å. WL: 1.5406, triclinic syngony. Unit cell indices: a – 5.18000, b – 9.02000, c – 20.04000. $\alpha = 90$, $\beta = 95.5$, $\gamma = 90$.
- ▼ (6) 00-029-1489, hydromica - $(\text{K} \cdot 1\text{Al}_2 \cdot \text{OH}_2 \cdot (\text{AlSi}_3\text{O}_{10}) \cdot n\text{H}_2\text{O})$, Y: 26.96 %, d x by: 1. d/n—4.41; 1.484; 2.545; 2.104; 2.351 Å. WL: 1.5406, syngony – hexagonal. Unit cell indices: a – 5.16280, b – 8.96200, c – 19.97700. $\alpha = 90.000$, $\beta = 95.738$, $\gamma = 90.000$.
- ▲ (7) 00-045-1375 (C), donbassite- $\text{Al}_{4.33}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$, Y: 2.53%, d x by: 1. d/n – 4.80; 3.536; 2.334; 2.834; 1.662 Å. WL: 1.5406, syngony – monoclinic.
- ▼ (8) 00-029-1489 (I), chlorite - $(\text{Mg}, \text{Fe})_{6-2x}(\text{Al}, \text{Fe})_{2x}[\text{OH}]_8(\text{Si}_4 - 2x\text{Al}_{2x})\text{O}_{10}$, d/n – 4.41; 1.483; 2.57. Y: 11.08 %, d x by: 1. WL: 1.5406, syngony – hexagonal. Unit cell indices: a – 8.14400, b – 12.98900, c— 7.16000. $\alpha = 92.100$, $\beta = 116.560$, $\gamma = 90.210$.
- (9) 00-003-0016 (D), montmorillonite - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, Y: 2.39 %, d x by: 1. d/n – 4.45; 1.495; 2.576; 1.697 Å. WL: 1.5406.
- ▼ (10) 00-002-0104, dickite - $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, Y: 0.90 %, d x by: 1. d/n – 7.24; 3.59; 2.347; 1.659; 1.323 Å. WL: 1.5406, syngony – monoclinic.

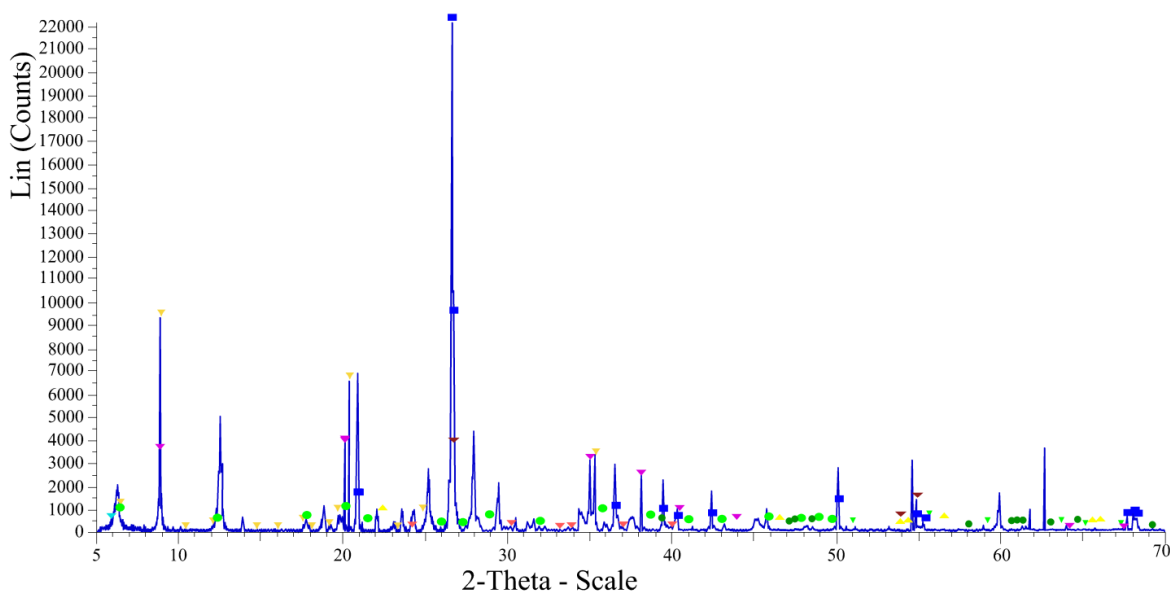


Рисунок 10 – Дифрактограмма глинистого сланца месторождения Куюк

2.3 Методы термического исследования

2.3.1 Дифференциально-термический анализ

Термический анализ (ТА) – это комплекс методов, предназначенных для регистрации изменений физических и химических свойств исследуемых образцов, обусловленных контролируемым изменением температуры. Основная

цель ТА – изучение фазовых переходов и химических реакций в веществах, а также определение их тепловой природы (эндотермический или экзотермический характер) и температурного интервала протекания.

Комплексный термический анализ (дериватография) выполнялся на установке Q-дериватограф, которая позволяет одновременно регистрировать несколько параметров: температура Т фактическая температура образца. Изменение массы ТГ (TG) кривая термогравиметрии: изменение веса вещества во времени, отражающее процессы, сопровождающиеся выделением или поглощением летучих компонентов (например, дегидроксиляция). Скорость изменения массы ДТГ (DTG) дифференциальная термогравиметрия: скорость потери/прироста массы, позволяющая точно определить температурные пики реакций. Изменение теплоемкости ДТА (DTA). Дифференциальный термический анализ: регистрация тепловых эффектов.

Установка также позволяет проводить исследования в квазиравновесном (квазиизобарическом) режиме.

Оборудование Q-дериватограф включает в себя: блок термосуммы, основную двойную печь, четырехканальную регистрирующую систему и тиристорный блок управления. Рабочая мощность - 2000 Вт, максимальная температура нагрева – 1000°C. Предел измерения массы - 1 г–10 г, чувствительность измерения - 20 мг (по шкале).

Данный комплексный подход обеспечивает исчерпывающую информацию о температурных интервалах дегидратации и фазовых превращений в глинистых сланцах, что критически важно для оптимизации режима их термической активации.

Термический анализ глинистых сланцев месторождения Мынарал и Куюк проводили до температуры 1017 °С, проведенный в ИРЛИП «КБМ» ЮКУ им. М.Ауэзова, выявил ряд фазовых и физико-химических превращений, сопровождающихся потерей массы.

Результаты термогравиметрического анализа (ТГ):

Исходная масса образца составляла 1003,08 мг;

Общая потеря массы образца (кривая ТГ) в исследованном температурном диапазоне составила 56,39 мг, или 5,67 % от первоначальной массы. Данная потеря обусловлена суммарным удалением влаги (физически и химически связанной) и диссоциацией карбонатов;

Кривая ДТА (рисунок 11) регистрирует несколько эндотермических эффектов, соответствующих процессам дегидратации, фазовых переходов и диссоциации.

Процесс сопровождается началом разрушения кристаллической решетки и формированием аморфных алюмосиликатов, при 575 °С эндотермический и фазовый переход – совмещение дегидроксиляции с полиморфным переходом α -кварца в высокотемпературную модификацию β -кварца (эффект, часто маскируемый интенсивной дегидратацией). Эндотермический эффект при 780 °С – завершение процесса обезвоживания остаточной химически связанной воды глинистых минералов. Интенсификация деструкции кристаллической

решетки и активное образование аморфной фазы, обладающей высокой пуццолановой активностью, эндотермический эффект при 910 °С – диссоциация карбоната кальция (CaCO_3) (кальцита), присутствующего в сланце в качестве примеси, с выделением CO_2 и образованием CaO .

Результаты термического анализа демонстрируют, что в интервале 780 – 910 °С происходит полное удаление химически связанной влаги и декарбонизация, что критически важно для активации пуццолановых свойств глинистого сланца. Формирование аморфной алюмосиликатной фазы при температурах около 780 °С подтверждает целесообразность использования данного материала в качестве активной минеральной добавки после термической обработки в этом диапазоне.



Рисунок 11 – Термограмма глинистого сланца месторождения Куяк

2.3.2 Термогравиметрический анализ

Термогравиметрия (ТГ) представляет собой вид термического анализа, основанный на непрерывной регистрации изменения массы образца (Δm) как функции температуры (T) или времени. Полученная кривая ТГ позволяет судить о термической стабильности материала и его фазовом составе в исходном состоянии. Метод наиболее эффективен для изучения физических и химических процессов, протекающих при нагреве и сопровождающихся выделением или поглощением летучих компонентов (например, дегидратация, декарбонизация, окисление).

Термогравиметрический анализ (ТГА) осуществлялся на высокоточном дериватографе STA 409 PC Luxx, произведенном компанией Netzsch Selb

(Германия). Данная установка позволяет проводить комплексный термический анализ, объединяя в себе три основных аналитических метода:

Термогравиметрический анализ (ТГ): Измерение изменения массы образца.

Дифференциальный термический анализ (ДТА): Регистрация тепловых эффектов (эндо- и экзотермических) фазовых превращений.

Дифференциально-термический гравиметрический анализ (ДТГ): Измерение скорости изменения массы, что позволяет более точно локализовать температурные интервалы эндо- и экзотермических реакций.

Для идентификации выделяющихся летучих продуктов в реальном времени установка была дополнительно сопряжена с масс-спектрометром QMS 403 C Aeolus. Такая комбинация обеспечивает исчерпывающую информацию о процессах, происходящих в материале при термической обработке, что критически важно для определения оптимальных параметров активации глинистых сланцев.

Термограмма глинистого сланца Мынаральского месторождения (рисунок 12) позволяет детально проанализировать температурно-зависимые фазовые и массообменные процессы, протекающие в материале в процессе нагревания.

2. Дифференциально-термическая гравиметрия (ДТГ, красная кривая)

Кривая дифференциально-термической гравиметрии (ДТГ), указывающая на скорость потери массы (пики, направленные вверх), подтверждает интенсивность эндотермических процессов:

- 130 °C: Первый пик соответствует максимальной скорости удаления адсорбционной влаги.

- 570 °C: Второй и наиболее интенсивный пик отражает максимальную скорость потери физико-химически связанной воды и начало дегидроксиляции глинистых компонентов.

- 710 – 730 °C: Третий пик, вероятно, указывает на начало интенсивной диссоциации карбоната кальция (кальцита), что также является процессом, сопровождающимся потерей массы (выделение CO₂).

3. Дифференциально-термический анализ (ДТА)

Кривая дифференциально-термического анализа (ДТА) регистрирует тепловые эффекты, сопровождающие фазовые превращения:

- 530 – 568 °C: Наблюдается эндотермический эффект, связанный с удалением влаги.

- 780 °C: Фиксируется выраженный эндотермический эффект, который однозначно интерпретируется как декарбонизация присутствующего в породе карбоната кальция.

Дополнительно в образце зафиксировано выделение газообразных продуктов (S, N₂, CO₂) в процессе нагревания, что коррелирует с разложением примесей и диссоциацией карбонатов [64, 65].

Термические исследования позволили точно определить температурные интервалы активации глинистого сланца. Наиболее значимые процессы,

определяющие пуццолановую активность (интенсивная дегидроксиляция и разрушение кристаллической решетки), происходят в диапазоне 530 – 860 °С, с пиком интенсивности около 570 °С, что является оптимальным температурным окном для получения высокоактивной минеральной добавки [65].

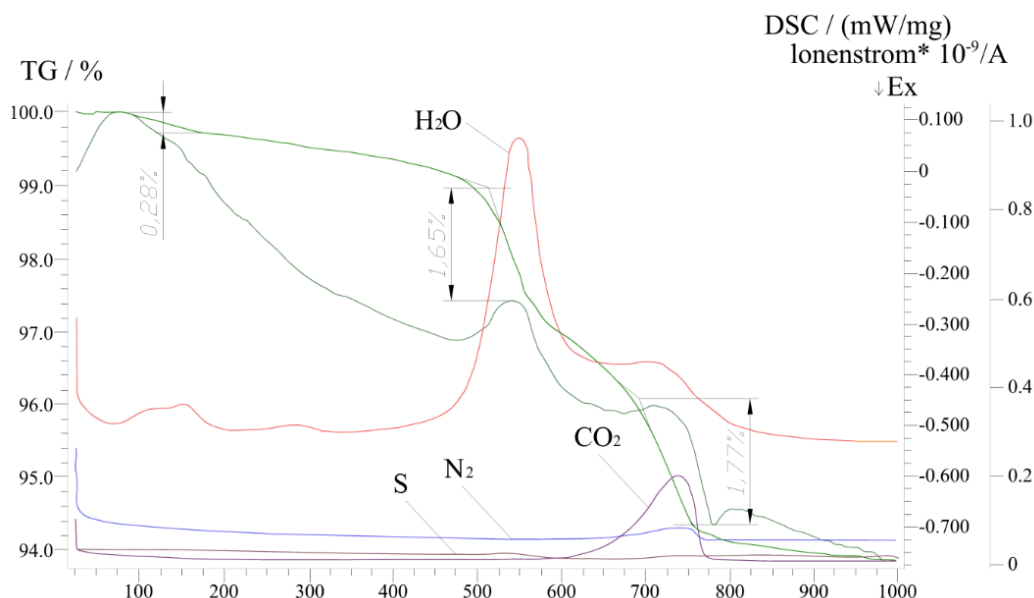


Рисунок 12 – Термограмма глинистого сланца месторождения Мынарал

2.4 Инфракрасный спектроскопический анализ

Инфракрасная спектроскопия (ИК-спектроскопия) является методом спектрального анализа, основанным на регистрации спектров поглощения образцов при воздействии на них инфракрасного излучения. Метод позволяет идентифицировать функциональные группы и типы химических связей в составе исследуемых материалов, поскольку каждая атомная группа имеет уникальную частоту колебаний, соответствующую определенному волновому числу (см^{-1}) в ИК-диапазоне.

Спектры пропускания исследуемых образцов регистрировались на двухлучевом ИК-спектрофотометре SPECORD 75. Диапазон волновых чисел - $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ ($2\text{--}25\text{ мкм}$), эксплуатационная мощность - 160 Вт, разрешающая способность - 5 см^{-1} (при 4000 см^{-1}).

Автоматическая регистрация спектров в данном интервале ($4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$) является достаточной для охвата колебаний всех основных функциональных групп, характерных для алюмосиликатных минералов и продуктов гидратации цемента.

Интерпретация полученных спектрограмм позволяет установить наличие следующих атомных и функциональных групп: Волновые числа (см^{-1}) функциональная/атомная группа 3950–3505 Н-О-Н (несвязанная вода)

отражают наличие физически адсорбированной или капиллярной воды. Волновые числа 3325–2950 Al-OH (связанная вода) свидетельствуют о присутствии гидроксильных групп, входящих в состав кристаллической решетки или продуктов гидратации (например, гиббсита). Волновые числа 1360–1012 Si-O-Si соответствуют асимметричным валентным колебаниям связи кремний-кислород в модификациях кремнезема (силикатная основа). Волновые числа 968–704 Si-O-Al, слоистые силикаты характеризуют деформационные колебания связей и свидетельствуют о присутствии алюмосиликатных фаз, включая слоистые силикаты (гидрослюда). Волновые числа 667 и 617 Fe-O-Fe указывают на присутствие соединений железа (например, гематита) в структуре образца. Волновые числа 555 Ca-O-Ca характеризует колебания связи, часто связанные с присутствием кальциевых компонентов (Рисунок 13).

ИК-спектроскопия является важным методом для изучения степени аморфизации глинистых сланцев после обжига и анализа продуктов гидратации композиционных цементов, позволяя отслеживать формирование новых фаз [66, 67].

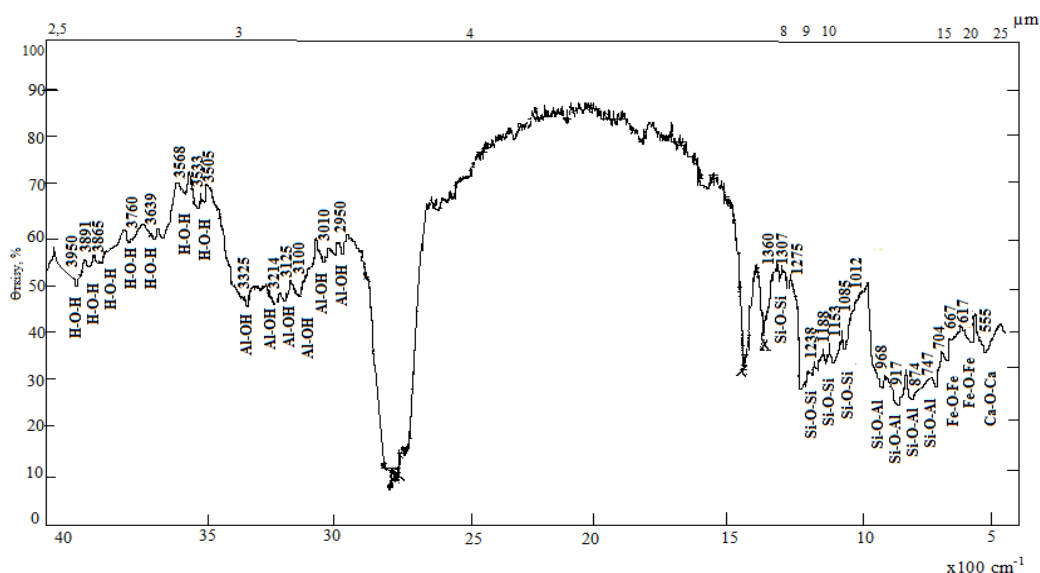


Рисунок 13 – ИК-спектрограмма глинистого сланца Куюк

Выводы по главе

В результате исследования пуццолановой активности необожженных алюмосиликатных пород установлено, что глинистый сланец Мынаральского месторождения демонстрирует наивысшую естественную реакционную способность (16,7 мг $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на 1 г добавки). Это обосновывает его выбор в качестве основного сырья для дальнейшей термической активации и использования в композиционном цементе.

Низкая естественная активность всех исследованных материалов подтверждает критическую необходимость их термической обработки для разрушения кристаллической структуры глинистых минералов и формирования высокоактивной аморфной фазы.

Термический анализ глинистых сланцев Мынарал и Куюк позволил точно определить температурные интервалы ключевых процессов.

Данные рентгенофазового анализа (РФА) подтверждают, что температура 900 °С является оптимальной для достижения полной аморфизации каолинита и хлорита (их отражения практически исчезают), что обеспечивает максимальный потенциал пуццолановой активности для конечного продукта.

Использование стандартизированного химического метода поглощения $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а также современных инструментальных методов обеспечивает высокую достоверность результатов исследования активности и фазовых превращений сырья.

Таким образом, на основе всестороннего анализа природного и термически активированного сырья, обоснована необходимость применения глинистого сланца Мынарал, обожженного при температуре 900°С, как наиболее эффективной активной минеральной добавки для производства композиционного цемента.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБЖИГА ГЛИНИСТЫХ СЛАНЦЕВ

3.1 Определение пуццолановой активности минеральных добавок методом поглощения гидроксида кальция

Производство композиционного цемента требуют точного подбора компонентов с высокой пуццолановой активностью.

Исследование активности используемых необожженных материалов проводили классическим методом поглощения извести из известкового раствора.

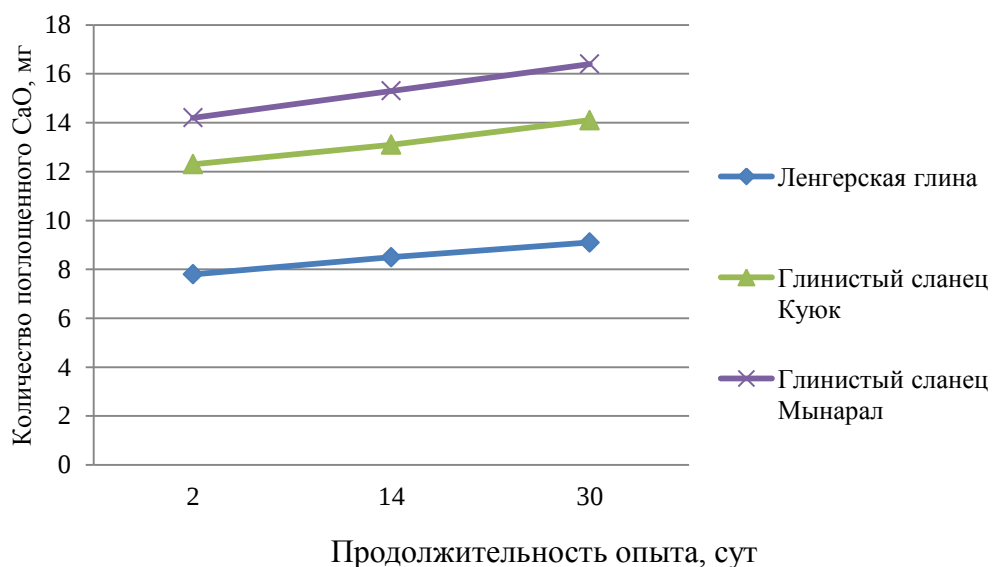


Рисунок 14 – Активные свойства минеральных добавок

Классический метод исследования поглощения гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из насыщенного известкового раствора подтвердил его эффективность для объективной оценки пуццолановой активности необожженных алюмосиликатных пород.

Установлена дифференциация пуццолановой активности между исследованными природными материалами, что подтверждает необходимость тщательного отбора сырья для композиционного цемента.

Глинистые сланцы Мынарал и Куюк демонстрирует высокую естественную активность, достигая до 16,7 мг $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на 1 грамм добавки.

Зафиксирована общая закономерность для всех исследованных материалов: величина поглощения CaO непрерывно возрастает с увеличением продолжительности опыта (более 30 сут), что характерно для медленно протекающих пуццолановых реакций.

Рекомендуется отдавать приоритет глинистым сланцам месторождений Мынарал и Куюк как наиболее перспективному сырью для производства композиционных цементов, поскольку они обеспечивают максимальную естественную реакционную способность.

Несмотря на наличие естественной активности, для обеспечения высокой скорости твердения цементного камня и достижения проектных прочностей в ранние сроки, необходимо проводить термическую активацию данных алюмосиликатных пород. Исследования по обожженным материалам должны быть проанализированы для точного установления оптимальной температуры активации, при которой их активность будет многократно выше, чем у необожженных образцов.

3.2 Исследование физико-химических превращений при обжиге глинистых сланцев

Начальный этап экспериментальной части был посвящен исследованию физико-химических преобразований в глинистых сланцах в процессе их термической обработки.

Процесс пробоподготовки включал следующие этапы:

- глинистые сланцы, поступающие в виде крупных кусков (размером до 200 мм), подвергались первичному механическому дроблению в металлической ступке.

- далее материал измельчался и истирался на дисковом истирателе до достижения целевой крупности частиц в диапазоне 2–5 мм.

- для удаления свободной (физически связанной) влаги материал подвергался предварительной сушке в лабораторном электрическом сушильном шкафу СНОЛ-3,5/3 м при температуре 90°C с продолжительностью изотермической выдержки 1 час.

Термическая активация глинистых сланцев проводилась согласно программе исследований в лабораторной электрической печи SNOL 7,2/1100.

Исследования охватывали три ключевых температурных режима, необходимых для достижения состояния метакеолинита (аморфного алюмосиликата) и обеспечения высокой пуццолановой активности: 700°C, 800°C и 900 °C (рисунок 15) [65].

Во всех случаях продолжительность изотермической выдержки при целевой температуре составляла 1 час. Сравнительный анализ свойств материала, обожженного при данных температурах, позволил установить оптимальный режим для получения высокоактивной минеральной добавки.



Рисунок 15 – Обожженные глинистые сланцы при 900 °С

Был выполнен рентгенографический анализ обожженных глинистых сланцев месторождений Мынарал и Куюк (Рисунки 16, 17, 18 и 19). С помощью рентгенографического анализа были изучены основные физико-химические изменения при обжиге сланцев [65].

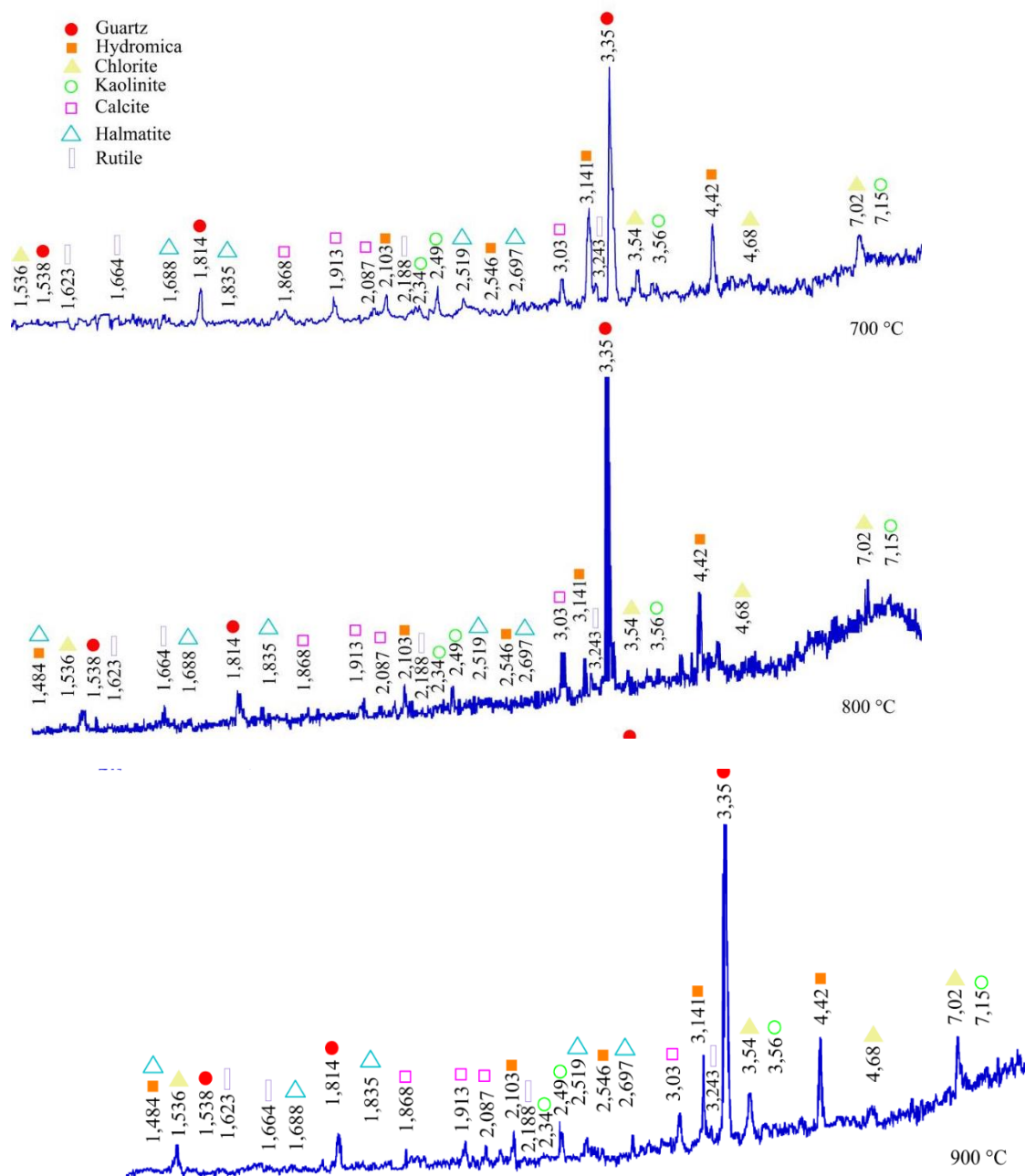


Рисунок 16 – Рентгенограмма обожженного при температурах 700 - 900 °С глинистого сланца Мынаральского месторождения

Проведенный рентгенофазовый анализ (РФА) глинистых сланцев, термически обработанных при 700°C, 800°C и 900°C, зафиксировали

существенные минералогические и структурные трансформации, критически влияющие на их пуццолановую активность.

Во всех исследованных образцах, независимо от температуры обжига, кварц (SiO_2) остается доминирующей кристаллической фазой, что подтверждается интенсивными отражениями, в частности, характерным межплоскостным расстоянием $d=3,35 \text{ \AA}$. Наряду с кварцем, в составе присутствуют реликтовые и новообразованные фазы, такие как гидрослюда, хлорит, каолинит, кальцит, гематит и рутил.

Изменения в рентгенограммах четко демонстрируют прогрессирующее разрушение слоистых алюмосиликатов (глинистых минералов) с ростом температуры:

- при температуре обжига 700°C пики каолинита и хлорита сохраняются выраженными, но с пониженной интенсивностью, неполное дегидроксилирование. значительная доля слоистых алюмосиликатов остается в кристаллической форме. Частично сохраняются карбонатные фазы;

- при температуре обжига 800°C интенсивность отражений каолинита и хлорита значительно уменьшается, пики кальцита также снижаются, Прогрессирующее разрушение кристаллической решетки глинистых минералов и начало обезуглероживания (диссоциации карбонатов). Это свидетельствует о формировании аморфной фазы;

- при температуре обжига 900°C отражения каолинита практически исчезают, пики хлорита также минимальны. Отражения кварца остаются стабильными, происходит полное разрушение кристаллической структуры каолинита и максимальная аморфизация алюмосиликатной фазы. Полученный продукт обладает максимальной реакционной (пуццолановой) способностью.

Результаты РФА устанавливают прямую корреляцию между температурой термической обработки и степенью аморфизации глинистых минералов. Температура 900°C является оптимальной для достижения полного разрушения кристаллических фаз (каолинит), что обеспечивает максимальный выход аморфных алюмосиликатов – основной активной составляющей минеральной добавки.

Для проведения комплексных испытаний использовались ресурсы двух ключевых лабораторных центров:

ТОО «Центральная Лаборатория сертификационных испытаний строительных материалов» (г. Алматы, Республика Казахстан): Использовались установки и приборы для стандартизированных сертификационных и физико-механических испытаний, а также для контроля качества сырья (Рисунок 17).

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева (г. Москва, Российская Федерация): Применялось специализированное высокоточное аналитическое оборудование (включая рентгенофазовый анализ, термогравиметрию и другие методы) для детального изучения фазового состава, кинетики гидратации и структурных изменений в материалах (Рисунок 18) [63].

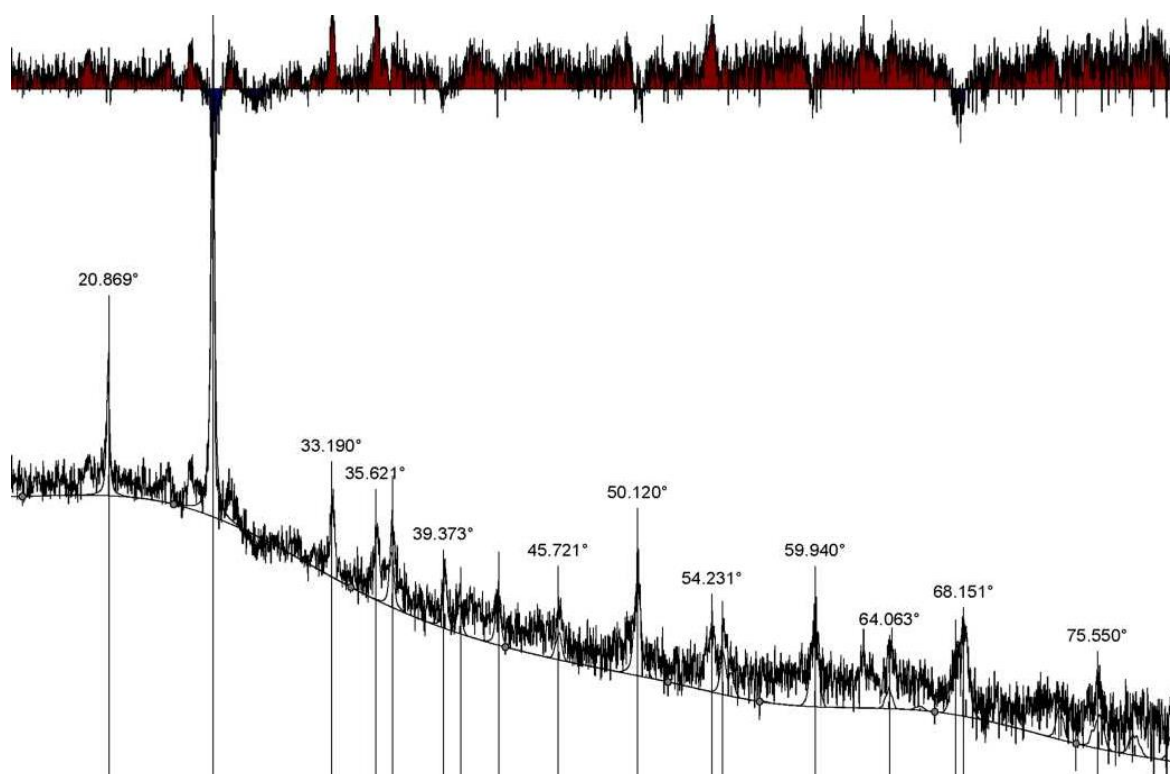


Рисунок 17 – Рентгенограмма обожженного при температуре 900 °С глинистого сланца Мынаральского месторождения

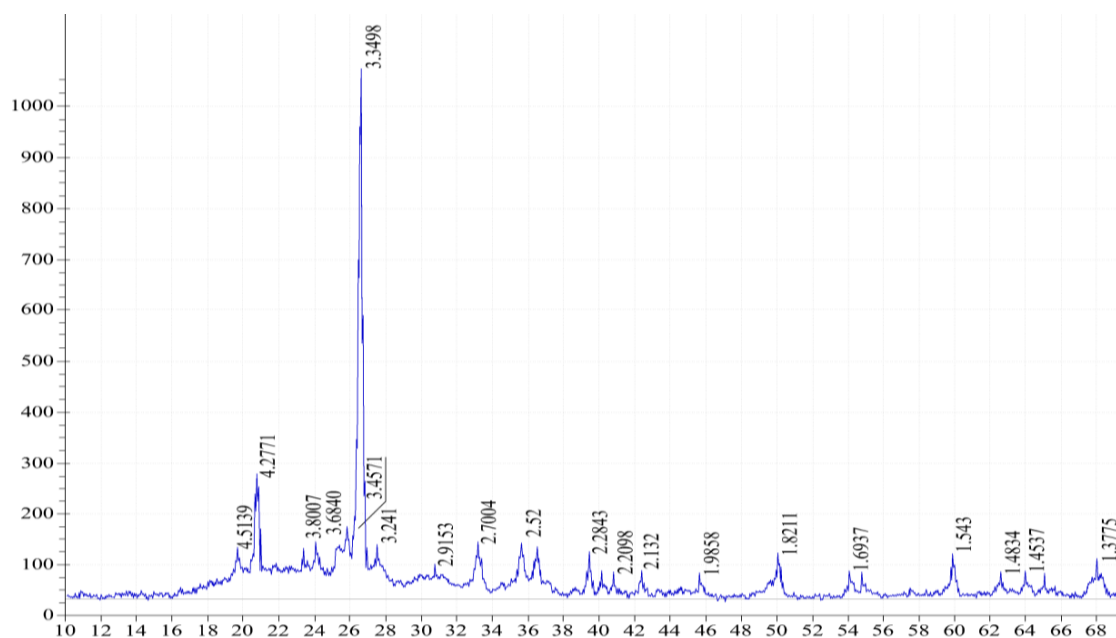
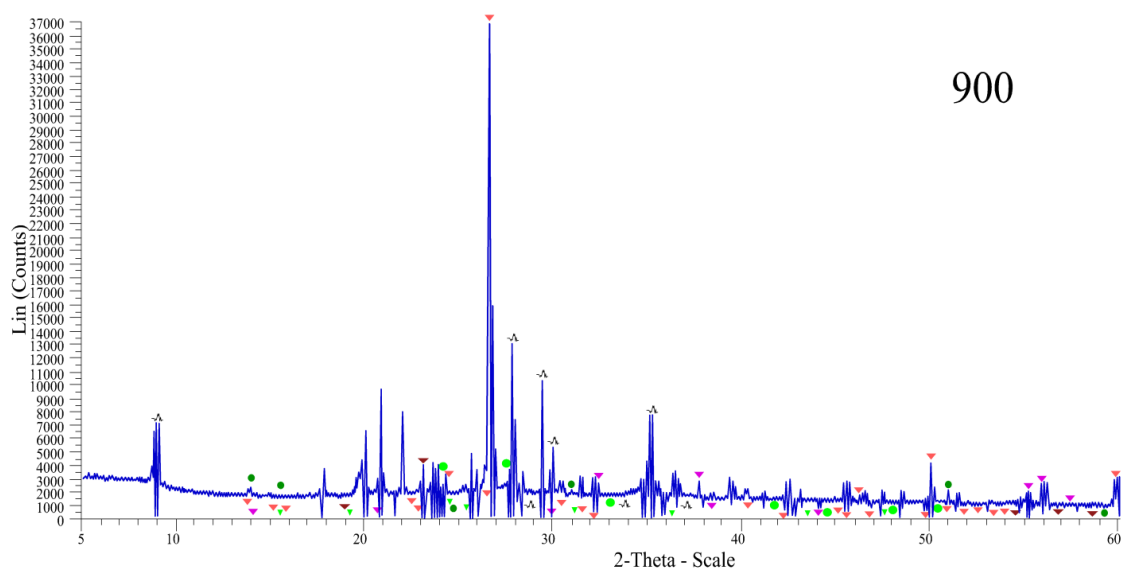


Рисунок 18 – Рентгенограмма обожженного при температуре 900 °С глинистого сланца месторождения Мынарал



● α -quartz-SiO₂ d/n – 3.34; 1.813; 1.534; 1.372; 1.380 Å; ▼ chlorite,
 (Mg,Fe)_{6-2x}(Al, Fe)_{2x}(Si_{4-2x}Al_{2x})O₁₀ d/n – 13.86; 1.538; 7.02; 4.68; 3.534 Å; ◻ calcite
 – CaCO₃ – 3.0281; 2.481; 1.914; 1.626 Å; ▲ hematite-Fe₂O₃ – 2.7004; 1.8211;
 1.693; 1.483 Å

Рисунок 19 – Рентгенограмма обожженного при температуре 900 °С глинистого сланца месторождения Куюк

На рентгенограмме глинистого сланца месторождения Мынарал (Рисунок 17, 18), обожженного при 900 °С, зафиксированы дифракционные максимумы следующих минералов: α - кварц - SiO₂, d/n – 4,27; 3,34; 2,458; 2,282; 1,817, 1,543 Å; обезвоженная слюда (K_{<1}Al₂(AlSi₃O₁₀) d/n – 3,13; 4,51; 1,4834; 2,132; 2,52 Å; хлорит (Mg,Fe)_{6-2x}(Al, Fe)_{2x}(Si_{4-2x}Al_{2x})O₁₀ d/n – 3,4571; 1,543 Å; гематит – Fe₂O₃ – 2,7004; 1,8211; 1,693; 1,483 Å; рутил TiO₂ d/n – 2,132; 1,693; 3,241 Å.

На рентгенограмме глинистого сланца месторождения Куюк (Рисунок 19), обожженного при 900 °С, зафиксированы дифракционные максимумы следующих минералов: β - кварц - SiO₂. - SiO₂ d/n – 3,34; 1,813; 1,534; 1,372; 1,380 Å, хлорит, (Mg,Fe)_{6-2x}(Al, Fe)_{2x}(Si_{4-2x}Al_{2x})O₁₀ d/n – 13,86; 1,538; 7,02; 4,68; 3,534 Å [3, 63].

Как показано на рентгеновских снимках обожженных глинистых сланцев при температуре 900 °С полностью обезвоживаются. Кроме того, здесь выделяются газы S, N₂, CO₂.

3.3 Исследование пуццолановой активности обожженных сланцев

Определена пуццолановая активность термоактивированных глинистых сланцев по поглощению гидроксида кальция Ca(OH)₂. Установлено, что при температуре ниже 700 °С, термообработанные глинистые сланцы не обладают

достаточной пуццолановой активностью. Обжигать сланцы выше 900 °С не имеет смысла, поскольку при данной температуре начинает образовываться кристаллическая фаза муллит. Полученные результаты приведены на рисунках 20 и 21.

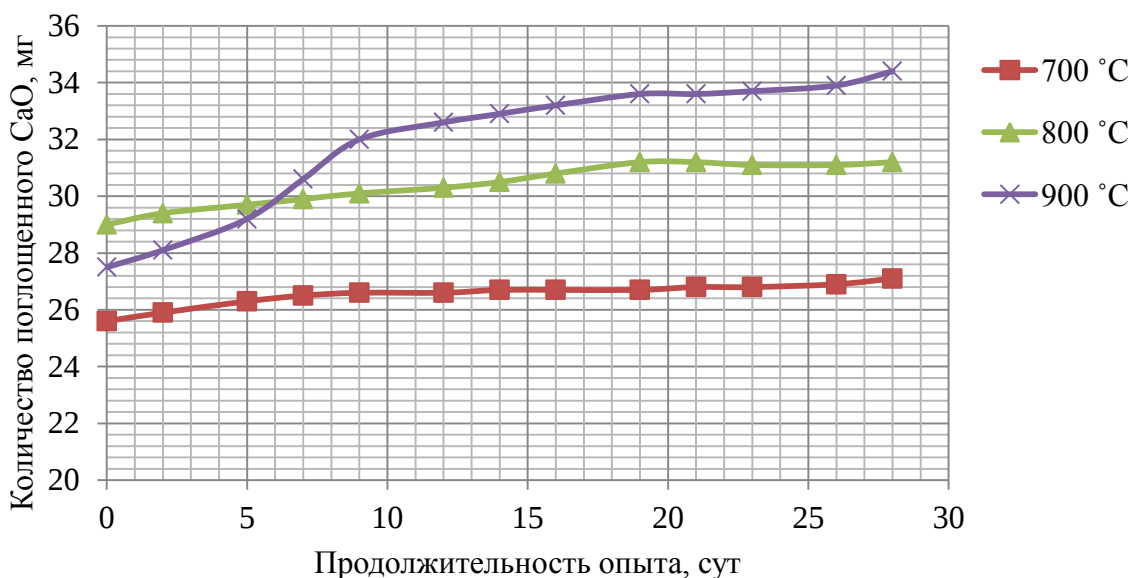


Рисунок 20 – Влияние температуры обжига сланца Мынарал на поглощение извести

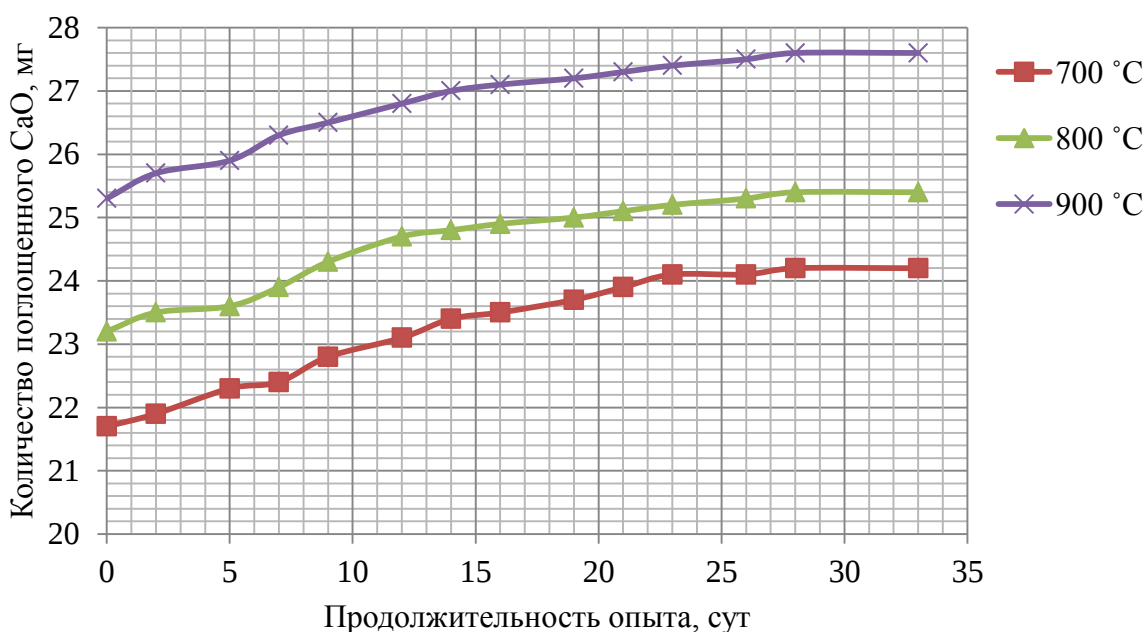


Рисунок 21 – Влияние температуры обжига сланца Куюк на поглощение извести

Как видно из представленных данных в процессе обжига сланца Мынарал при 700 °С его активность изменяется от 26 до 27 мг, при обжиге при 800 °С до 31–31,5 мг, при температуре 900 °С - до 34,4 мг СаО (рисунок 20). Обожженный сланец Куюк, обожженный при 900 °С, поглощает до 27-28,2 мг СаО (рисунок

21). Видно, что при любой температуре термообработки для сланца Куюк количество поглощенной извести не изменяется после 30 сут в то время, как для глинистого сланца Мынарал, обработанного при 900 °С, кривая поглощения имеет тенденцию к увеличению [63].

По полученным результатам эту породу можно отнести к глиежам и применять в качестве активной минеральной добавки при производстве портландцемента.

Выводы по главе

Эффективность классического химического метода поглощения гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из насыщенного известкового раствора подтверждена для объективной оценки пуццолановой активности необожженных алюмосиликатных пород.

Установлена дифференциация пуццолановой активности между исследованными природными материалами, что подтверждает необходимость тщательного отбора сырья для композиционного цемента.

Глинистые сланцы месторождений Мынарал и Куюк обладают наивысшей естественной активностью, достигая до 16,7 мг $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на 1 грамм добавки.

Зафиксирована общая закономерность: величина поглощения CaO непрерывно возрастает с увеличением продолжительности опыта (более 30 сут), что характерно для медленно протекающих пуццолановых реакций.

Рекомендовано отдавать приоритет глинистым сланцам месторождений Мынарал и Куюк как наиболее перспективному сырью для производства композиционных цементов.

Для обеспечения высокой скорости твердения цементного камня и достижения проектных прочностей в ранние сроки, необходимо проводить термическую активацию алюмосиликатных пород, несмотря на наличие естественной активности.

Термическая активация глинистых сланцев проводилась при трех ключевых температурах: 700 °С, 800 °С и 900 °С.

Рентгенофазовый анализ (РФА) показал прямую корреляцию между температурой обжига и степенью аморфизации глинистых минералов.

При росте температуры происходит прогрессирующее разрушение слоистых алюмосиликатов (глинистых минералов):

При 700 °С: Сохраняются выраженные, но с пониженной интенсивностью пики каолинита и хлорита (неполное дегидроксилирование).

При 800 °С: Интенсивность отражений каолинита и хлорита значительно уменьшается, что свидетельствует о формировании аморфной фазы.

При 900 °С: Отражения каолинита практически исчезают, а пики хлорита минимальны. Происходит полное разрушение кристаллической структуры каолинита и максимальная аморфизация алюмосиликатной фазы.

Оптимальной для достижения максимального выхода аморфных алюмосиликатов (основной активной составляющей) признана температура 900 °С.

При этой температуре полученный продукт обладает максимальной реакционной (пуццолановой) способностью.

При 900 °С сланцы полностью обезвоживаются и происходит выделение газов S, N₂, CO₂.

При температуре ниже 700 °С термообработанные глинистые сланцы не обладают достаточной пуццолановой активностью.

Обжигать сланцы выше 900 °С не имеет смысла, так как при данной температуре начинает образовываться кристаллическая фаза муллита.

Максимальная пуццолановая активность была получена для сланца месторождения Мынарал при обжиге при 900 °С, достигая 34,4 мг СаО.

Для сланца Мынарал, обработанного при 900 °С, кривая поглощения СаО имеет тенденцию к увеличению и после 30 сут, в отличие от сланца Куюк, где количество поглощенной извести после 30 сут не изменяется.

По полученным результатам, обожженную породу Мынарал можно отнести к глиежам и применять в качестве активной минеральной добавки при производстве портландцемента.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРАТАЦИИ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЦЕМЕНТОВ

4.1 Исследование физико-механических свойств композиционных цементов

После изучения процесса обжига глинистых сланцев при температурах 700 °С, 800 °С, 900 °С исследовано влияние обожженной активной минеральной смеси на основные физико-механические показатели портландцемента. Для этого образцы глинистого сланца размером 10-20 мм, обожженные при температурах 700, 800 и 900 °С, измельчали в лабораторной шаровой мельнице. Композиционные цементы получали путем совместного помола клинкера, гипса и обожженного сланца до удельной поверхности 4205 см²/г (Рисунок 22), удельную поверхность определяли на приборе ПСХ-К. Количество вводимых при совместном помоле обожженных глинистых сланцев составляло от 5 до 15 %.

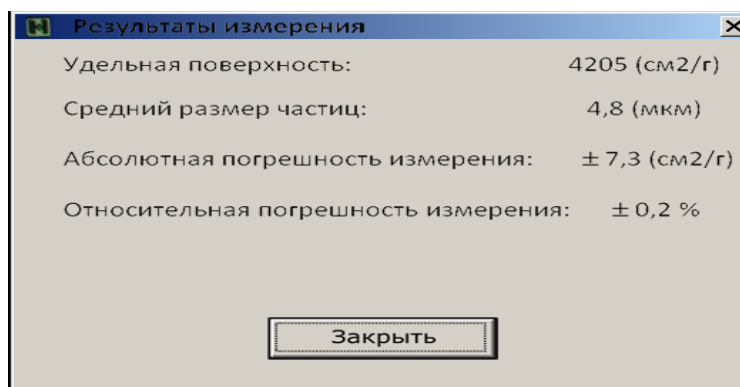


Рисунок 22 – Удельная поверхность полученных совместным помолом композиционных цементов

Физико-механические испытания проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 310.1-81 и 310.3-81 [68, 69]. Цементное тесто нормальной густоты готовили в сферической чаше. Нормальная густота цементного теста без добавки сланца, с добавкой 5 и 10 % сланца месторождения Мынарал составила 27 % и сланца месторождения Куюк составила 27,3 % независимо от температуры обжига и степени помола, 27,5 % для цементного теста с добавкой 15 % обожженного сланца месторождения Мынарал и для обожженного сланца месторождения Куюк 27,4 % для цементного теста с добавкой 15 % соответственно [63].

Прочность цементного камня определена в соответствии с требованиями ГОСТ-12730 3 20 [1, 70]. Для этих целей в течение 3, 7 и 28 суток в воде хранились образцы цементных камней без добавок и с добавками 5 – 15 % обожженных глинистых сланцев месторождений Мынарал и Куюк при

температурах 700-900 °С. По истечении этого срока их извлекали из воды и взвешивали на лабораторных весах с точностью до 0,001 г [63].

После определения нормальной густоты и сроков схватывания всех цементов, содержащих смесь обожженных сланцев в пределах 700-900 °С в количестве 5 – 15 %, формовали образцы размером 2х2х2 см. Подготовленные образцы хранили в камере с гидравлическим затвором при комнатной температуре 20±2 °С и условиях относительной влажности 80 %. Образцы хранились сначала в форме в течение 1 суток, а затем расформовывали, и хранили в воде в течение 3, 7 и 28 суток [63].

В соответствии с требованиями ГОСТ 310.4-81 [71] образцы без добавок и с добавками сланцев месторождений Мынарал и Куяк через 3, 7 и 28 суток испытывали на гидравлическом прессе ПГМ-100 МГ-4а с пределом нагрузки до 100 кН и установили пределы прочности при сжатии. Кроме того, определены плотность и цементных камней и коэффициенты соответствия с ГОСТ 12730.1-20 и ГОСТ 12730.3-20 кубических образцов цемента [72, 73].

Результаты физико-механических испытаний композиционных цементов представлены в таблице 2 и 3.

Водопотребность цементного теста без добавок составила – 27 %, средняя плотность - 2031 г/см³, предел прочности, МПа: за 3 суток - 32,64, за 7 суток - 35,13, за 28 суток - 48,78.

Сроки схватывания, ч-мин: начало - 2 – 35, окончание - 4 -15.

При добавлении глинистого сланца месторождения Мынарал, обожженных при 700 °С по сравнению с цементным камнем без добавок, были получены следующие показатели: при добавлении 5 и 10 % водопотребность не изменилась - составила 27 %. При добавлении в количестве 15 % потребность в воде увеличилась на 0,5 % и составила 27,5 %. Плотность цементного камня также несколько снижается, повышается его водопотребность. Сроки схватывания цементных камней особо не изменились, только окончание схватывания закончилось на 5-10 мин позже. Кроме того, можно заметить, что цементные камни с добавками имеют более высокие пределы прочности при сроках 3, 7 и 28 суток. Максимальное значение прочности цементного камня за 3 суток при добавлении глинистых сланцев, обожженных при 700 °С, по сравнению с цементным камнем без добавок – 20 %. В 28 сут возрасте прочность составила 52,64 МПа, что выше бездобавочной на 7,33 %.

При добавлении глинистого сланца месторождения Мынарал, обожженного при 800 °С, по сравнению с цементным камнем без добавок, были получены следующие показатели: при добавлении 5 и 10 % водопотребность не изменилась - составила 27 %. При добавлении в количестве 10 % потребность в воде увеличилась на 1 % и составила 28 %. Плотность цементного камня также несколько снижается. Сроки схватывания цементов особо не изменились, только окончание схватывания закончилось на 5-10 мин позже. Кроме того, можно заметить, что цементные камни с добавками имеют более высокие пределы прочности при сроках 3, 7 и 28 суток. Максимальное значение прочности цементного камня за 3 суток при добавлении обожженных

глинистых сланцев при 800 °С получено при добавлении – 20 % по сравнению с цементным камнем без добавок. Этот показатель равен 35,18 МПа и выше на 7,22 %. За 7 суток в сумме 10 % составило - 40,17 МПа, свыше 12,55 %. За 28 суток в сумме 10 % - 53,70 МПа, свыше 9,16 %.

Результаты физико-механических испытаний композиционных цементов с добавками термоактивированного сланца Мынарал приведены в таблице 2 и на рисунке 23, а цементов с добавками термоактивированного сланца Куюк приведены в таблице 3.

Таблица 2 - Результаты физико-механических испытаний цементов с добавкой глинистого сланца Мынарал, обожженного при 700-900 °С

Добавки сланца, %	Водо цементное отношение	Сроки схватывания, ч-мин		Прочность при сжатии, МПа			Средняя плотность, г/см ³
		начало	конец	3 сут	7 сут	28 сут	
0	27,0	2-40	4-10	32	35	48	2250
700 °С							
5	27,0	2-50	4-20	33	36	48	2245
10	27,0	2-55	4-30	33	38	49	2250
15	27,0	3-10	4-45	33	36	50	2265
20	28,0	3-35	5-05	32	35	44	2240
25	28,0	3-50	5-25	31	34	39	2210
800 °С							
5	27,0	2-40	4-15	33	37	49	2260
10	27,0	2-50	4-30	33	40	50	2270
15	28,0	3-10	4-50	34	38	50	2275
20	28,0	3-30	5-15	32	34	44	2250
25	29,0	3-40	5-30	29	30	40	2235
900 °С							
5	27,0	2-50	4-25	33	38	49	2260
10	27,0	2-55	4-50	33	39	50	2275
15	28,0	3-15	4-55	34	36	51	2290
20	28,0	3-40	5-20	32	35	40	2265
25	29,0	4-05	5-35	31	33	35	2240

При добавлении глинистого сланца месторождения Мынарал, обожженного при 900 °С, по сравнению с цементным камнем без добавок, были получены следующие показатели: при добавке 5 и 10 % водопотребность не изменилась - составила 27 %. При добавлении 15 % водопотребность увеличилась и нормальная густота теста составила 28 %. Плотность цементного камня также несколько снижается. Сроки схватывания цементов особо не изменились, только окончание схватывания закончилось на 5-15 мин позже. Композиционные цементы с добавками обожженного сланца имеют более высокие прочности в возрасте 3, 7 и 28 суток. Это позволит снизить долю

клинкерной составляющей в композиционных цементах и за счет этого уменьшить выбросы CO_2 в атмосферу.

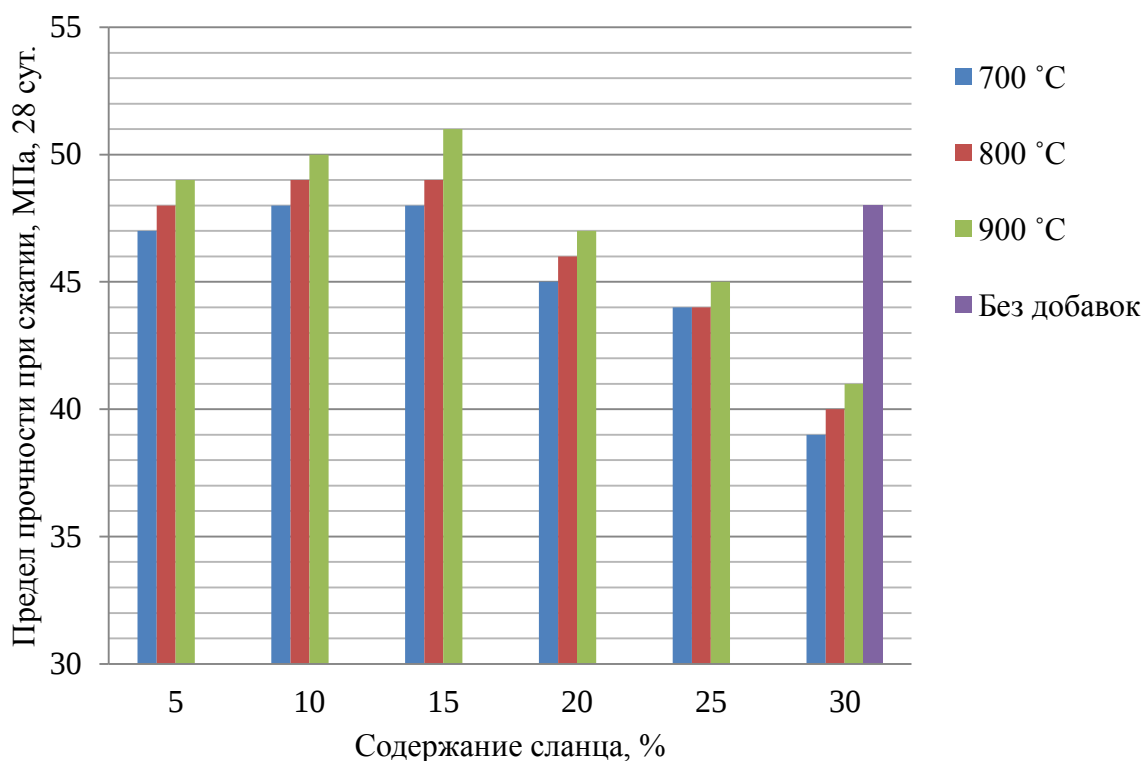


Рисунок 23 – Результаты физико-механических испытаний цементов, без добавок и с добавками глинистого сланца Мынарал обожженных при 700-900 °С

Введение в композиционные цементы обожженных при 700–900 °С сланцев Мынарал в количестве 5-15 % увеличивает прочность цементного камня во все сроки твердения. Лучшие прочностные показатели имеют цементы с добавкой 15 % обожженных при 900 °С сланцев Мынарал. [1, 63].

Это доказывается, в том числе, высокой активностью как минеральной добавки обожженного при 900 °С глинистого сланца. Количество поглощенного CaO в возрасте 30 сут составило 33,0 – 34,4 мг [1, 63].

Как следует из данных таблицы 3, нормальная густота цементного теста составляет 27–28 %. Показатели сроков схватывания всех исследованных цементов соответствуют требованиям ГОСТ. Повышение содержания обожжённого сланца Куюк с 5 до 15 % приводит к незначительному замедлению начала и окончания схватывания цементного теста. Прочностные характеристики композиционных цементов зависят, в частности, от температуры обжига глинистого сланца Куюк, так и от дозировки обожженной добавки. С повышением дозировки сланца монотонно снижается средняя плотность цементного камня с исходных 2250 г/см³ до 2145 – 2200 г/см³. Повышение температуры обжига куюкских сланцев приводит к очевидному увеличению прочности цементного камня. Тем не менее образцы с добавлением обожжённых сланцев демонстрируют несколько меньшую прочность по сравнению с контрольными. Наилучшие показатели прочности в

возрасте 28 суток наблюдаются у цементов с содержанием 15 % обожжённых сланцев Куюк, тогда как при введении 5 % и 10 % добавки прочность ниже [1, 63].

Таблица 3 - Результаты ФМИ композиционных цементов контрольная и с содержанием до 25 % глинистого сланца месторождения Куюк

Сланец, %	В/Ц, %	Сроки схватывания, ч-мин		Прочность при сжатии, МПа			1 Средняя плотность, г/см ³
		начало	конец	3 сут	7 сут	28 сут	
0	27,0	2-40	4-10	32	35	48	2250
700 °C							
5	27,0	2-55	4-25	31	34	45	2235
10	27,0	3-05	4-45	30	33	46	2242
15	27,0	3-15	4-55	30	32	47	2145
20	28,0	3-25	5-05	29	31	43	2225
25	28,0	3-35	5-25	27	29	39	2205
800 °C							
5	27,0	2-50	4-20	32	34	46	2240
10	27,0	3-00	4-40	31	34	47	2245
15	28,0	3-10	4-50	30	33	48	2160
20	28,0	3-20	5-00	28	30	44	2220
25	29,0	3-30	5-20	26	27	40	2190
900 °C							
5	27,0	2-55	4-25	32	34	47	2240
10	27,0	3-05	4-45	32	34	48	2245
15	28,0	3-10	4-50	31	34	49	2250
20	29,0	3-20	5-05	29	31	45	2225
25	29,0	3-35	5-25	26	28	41	2205

Более низкая прочность цементов с добавками сланцев Куюк объясняется меньшей величиной поглощения СаО из раствора извести. Она, по нашим данным, составляла через 30 сут 27,4 – 28,2 мг СаО, что значительно меньше, чем у сланцев Мынарал (33 – 34,3 мг) [1, 63].

4.2 Исследование процессов гидратации и твердения разработанных композиционных цементов

После завершения физико-механических испытаний цементов без добавок и с добавками 5 – 15% обожженных сланцев месторождения Мынарал был проведен химический анализ гидратированного цементного камня. В том числе микроанализ цементных камней по данным таблицы 2 и 3, выявлен элементный химический и оксидный состав цементных фаз.

Элементный химический состав цементного камня определяли с помощью растрового электронно-микроскопического анализа.

Согласно данных таблиц 4 содержание основных оксидов в цементном камне без добавок следующее, %: SiO_2 - 15,29, Al_2O_3 - 3,19, Fe_2O_3 - 3,98, CaO - 47,43. содержание вторичных оксидов, %: MgO - 1,33, Na_2O - 2,77, K_2O - 2,66, SO_3 - 0,75, примесные оксиды встречаются в достаточно малых количествах, %: P_2O_5 - 0,24, TiO_2 - 0,75, а также CO_2 в количестве 3,04%. Содержание химически связанной воды H_2O составляет 24,46 % [1, 65].

Присутствие оксидов P_2O_5 , Cr_2O_3 , BaO , TiO_2 , Mn_2O_3 в количестве 0,2-0,5% в композиционном цементе в виде твердых растворов в клинкерных минералах приводит к ускорению гидратации цемента и повышению прочности цементного камня.

Образование на начальной стадии прочной структуры цементного камня на основе низкоосновных гидросиликатов кальция (типа CSH(B)) способствует повышению марочной прочности цемента.

Содержание оксидов в цементном камне без добавки и с обожженной глиной, приведено на графике, рисунок 24 [76].

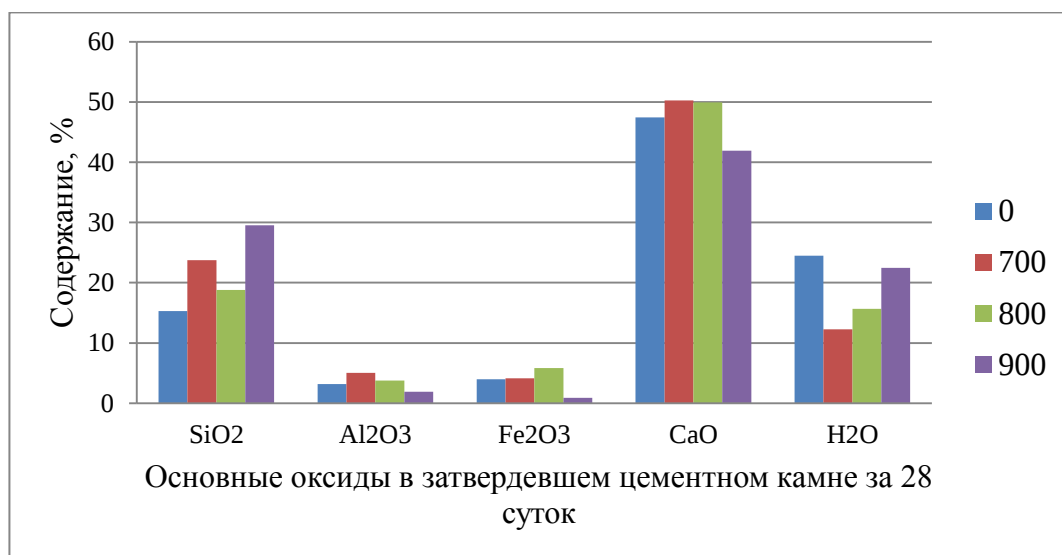


Рисунок 24 – Содержание оксидов в цементном камне без добавок и с добавками обожженных глинистых сланцев месторождения Мынарал

Таблица 4 – Химические составы фаз цементного камня без добавок и с добавками обожженного сланца месторождения Мынарал

№	Общий микроанализ	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	H ₂ O
1	Цементный камень без добавок	16,15	3,35	1,82	46,62	1,09	1,43	3,19	2,83	0,19	0,21	23,11
2	Цементный камень с добавкой 15 % обожженных при 700 °С сланцев	19.18	3.43	2.56	41.71	1.33	1.6	1.59	2.52	-	-	24,03
3	Цементный камень с добавкой 15 % обожженных при 800 °С сланцев	20.48	3.71	2.92	42.34	1.49	2,43	0.64	1.07	0,21	-	24,69
4	Цементный камень с добавкой 15 % обожженных при 900 °С сланцев	21.81	4.38	3.25	44.92	1.56	2,03	0.92	1.43	-	0,19	24,83

С помощью растрового электронного микроскопа проведено исследование микроструктуры гидратированного цементного камня без добавок и с добавками 5–15 % сланцев Мынарал, обожженных при 700-900 °С (рисунок 25, 26, 27, 28).

Физическая структура затвердевшего цементного камня представляет собой плотную массу гидратированной твердой фазы с порами различных размеров. Твердая масса гидратов состоит из кристаллов различной формы, аморфных гранул, кроме того, цементный камень содержит частицы не гидратированного клинкера. Отдельные кристаллы в массе цементного камня могут образовывать кристаллические наросты, которые особенно заметны в пределах раздела цементного камня-наполнителя и в порах.

Поскольку прочность цементного камня определяется его физической структурой, характеристики его прочности коррелируют с гидратацией твердой фазы или пористостью материала.

Структура плотная, с небольшой пористостью. Содержание пористости в полученных образцах цементного камня составляет 3 %. Образуется структура с самой плотной массой, при которой соприкосновения между частицами высоки. Основную связывающую функцию здесь выполняет гидросиликатный гель.

Element	Weight, %	Formula	Connection, %
C	7.43		
O	50.47		
Na	1.36	Na ₂ O	2.18
Mg	0.65	MgO	1.08
Al	1.25	Al ₂ O ₃	2.36
Si	6.62	SiO ₂	14.16
P	0.09	P ₂ O ₅	0.20
S	0.57	SO ₃	1.42
K	2.36	K ₂ O	2.84
Ca	26.80	CaO	37.49
Ti	0.12	TiO ₂	0.20
Fe	1.28	Fe ₂ O ₃	1.81
Total	100		

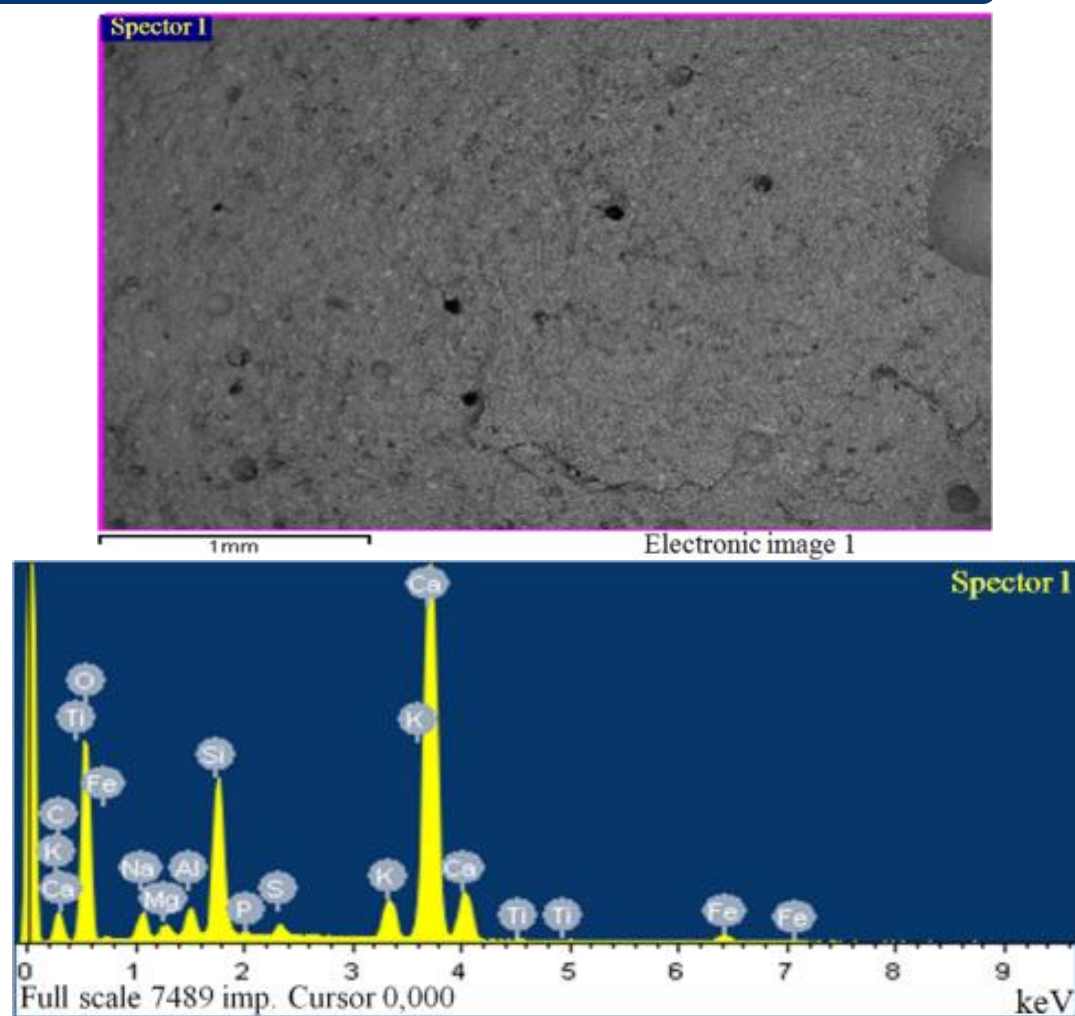
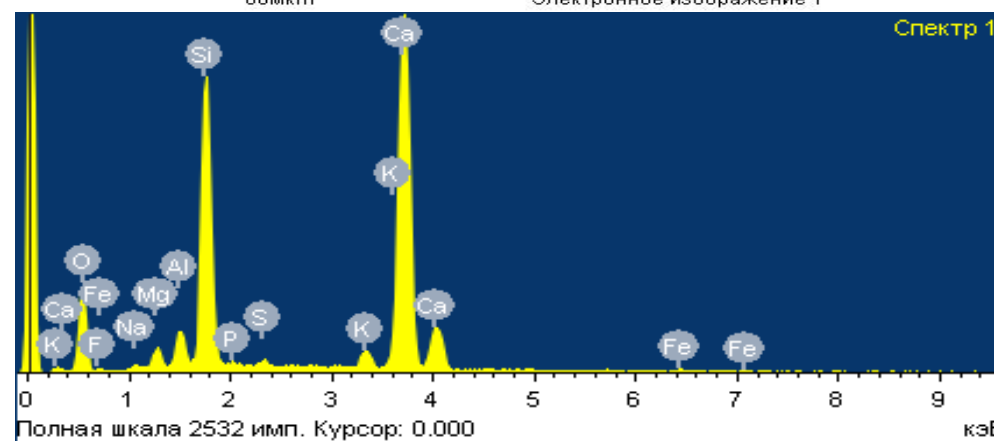
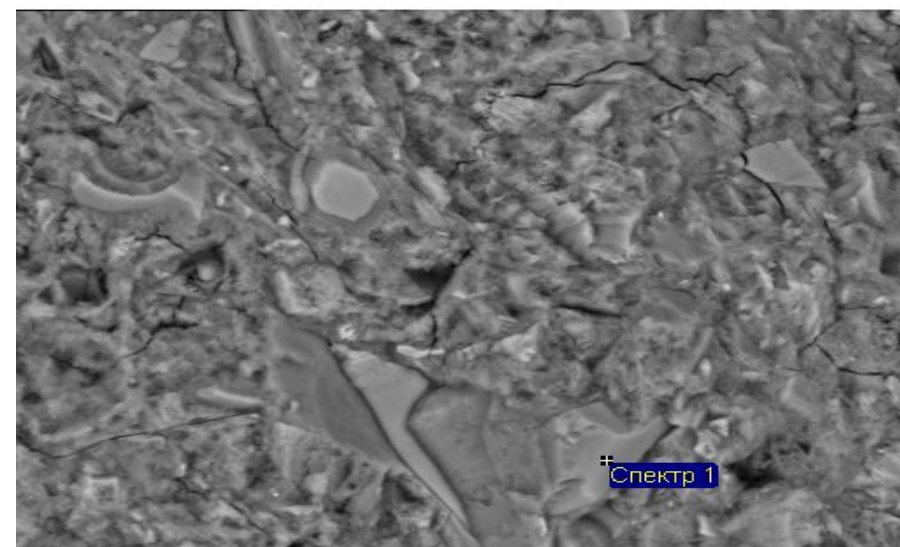


Рисунок 25- РЭМ анализ гидратированного цементного камня без добавок.
Твердение 28 сут

Элемент	Весовой, %	Формула	Соед. %
O	36.67		
F	1.28		
Na	0.43	Na ₂ O	0.58
Mg	1.48	MgO	2.43
Al	2.17	Al ₂ O ₃	4.11
Si	18.08	SiO ₂	37.88
P	0.29	P ₂ O ₅	0.62
S	0.33	SO ₃	0.83
K	1.55	K ₂ O	1.84
Ca	37.14	CaO	50.92
Fe	0.58	Fe ₂ O ₃	0.79



INCA

Рисунок 26 – РЭМ анализ гидратированного цементного камня с добавкой 15 % обожженного при 700 °C сланца Мынарал. Твердение 28 сут

Элемент	Весовой, %	Формула	Соед. %
O	43.56		
Na	0.21	Na ₂ O	0.28
Mg	0.58	MgO	0.96
Al	1.04	Al ₂ O ₃	1.97
Si	9.84	SiO ₂	21.05
P	0.63	P ₂ O ₅	1.44
S	0.48	SO ₃	1.16
K	0.61	K ₂ O	0.73
Ca	42.20	CaO	59.04
Fe	0.85	Fe ₂ O ₃	1.22

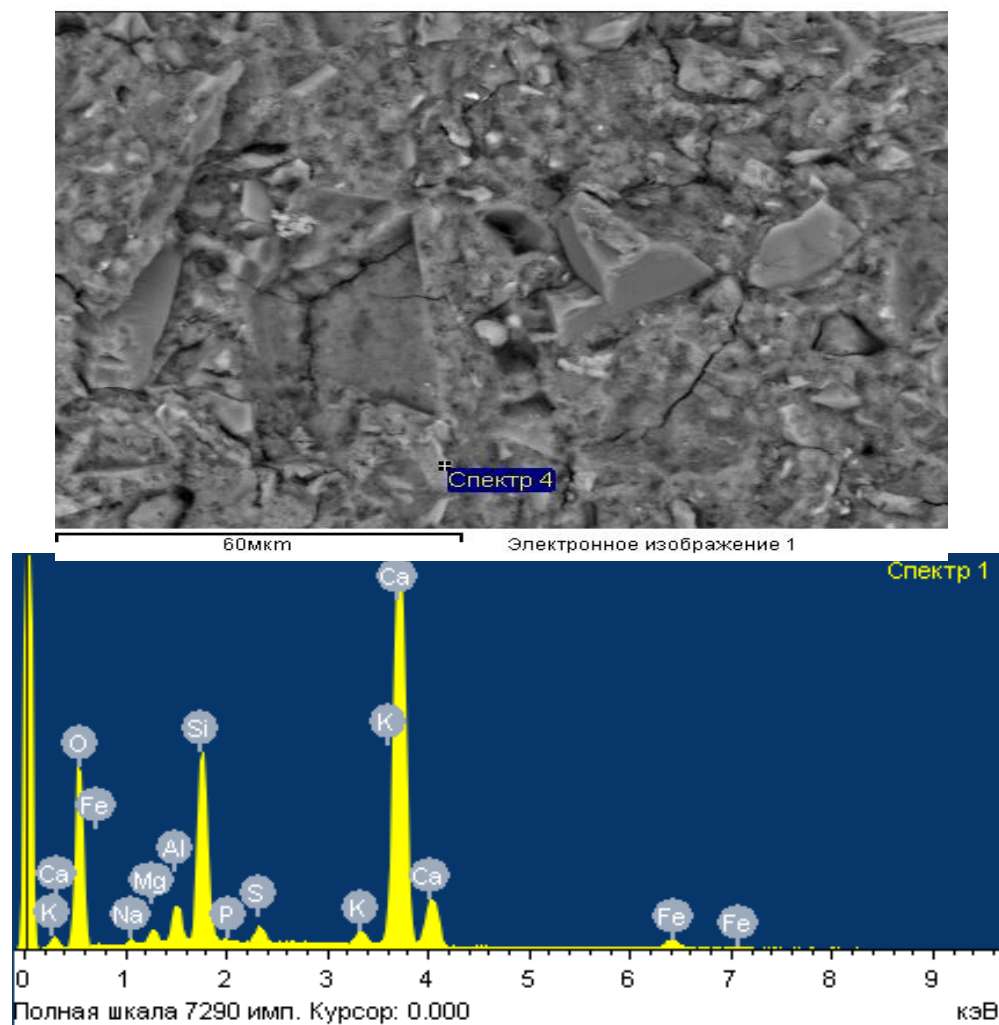


Рисунок 27 – РЭМ анализ гидратированного цементного камня с добавкой 15 % обожженного при 800 °C сланца Мынарал. Твердение 28 сут

Element	Weight, %	Formula	Connection, %
O	56.56		
Na	1.02	Na ₂ O	1.38
Mg	0.33	MgO 85	0.54
Al	1.54	Al ₂ O ₃	2.91
Si	6.68	SiO ₂	14.29
P	0.12	P ₂ O ₅	0.27
S	0.58	SO ₃	1.28
K	1.32	K ₂ O	1.59
Ca	30.92	CaO	43.25
Fe	0.93	Fe ₂ O ₃	1.33
Total	100		

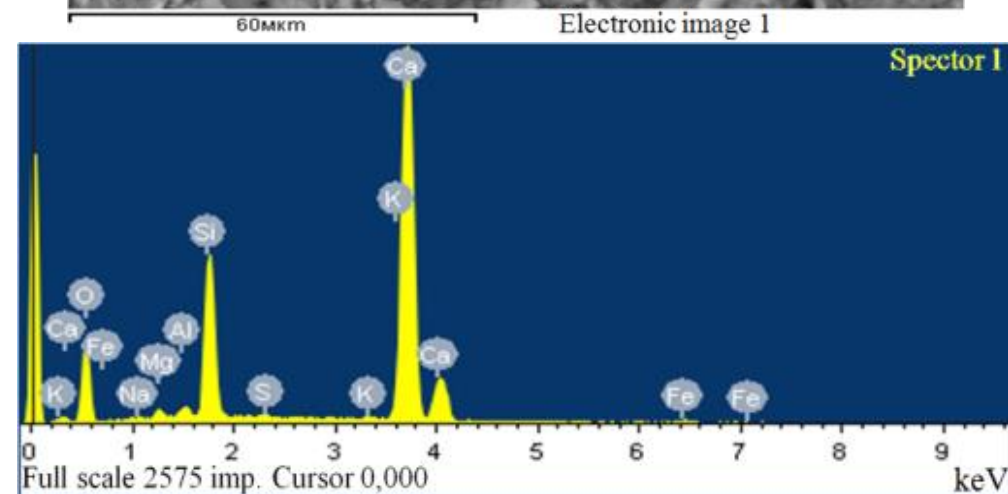
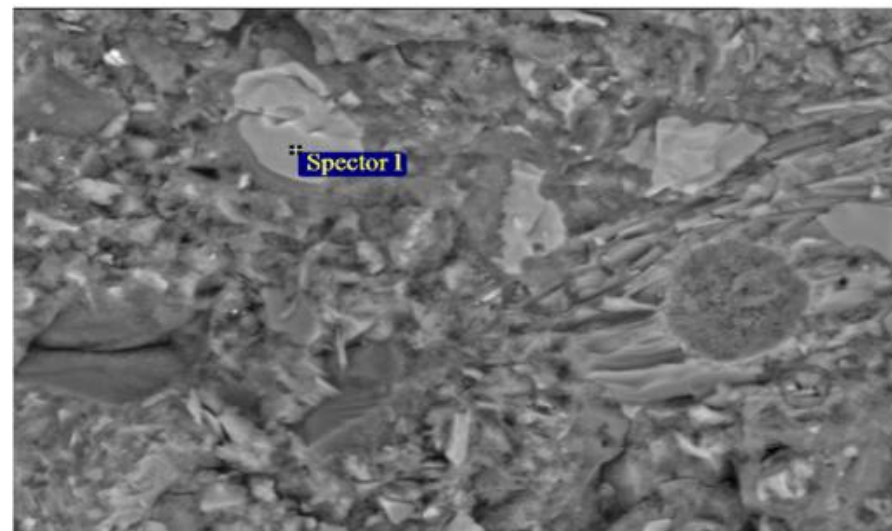
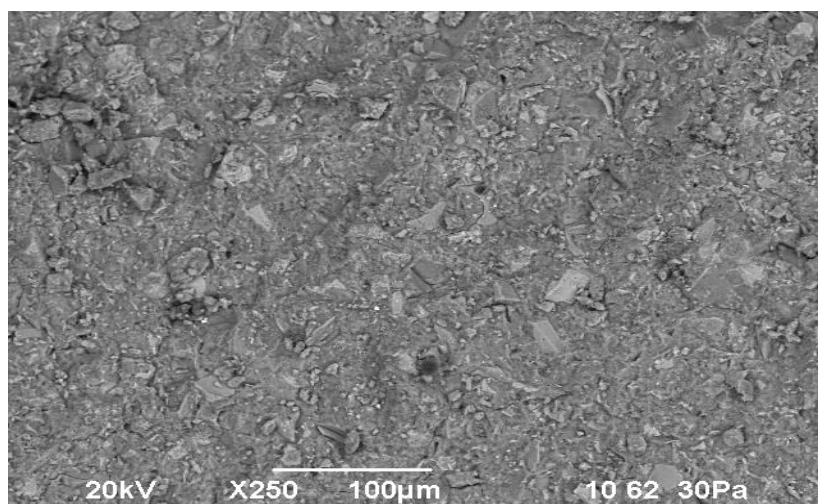


Рисунок 28 – РЭМ анализ гидратированного цементного камня с добавкой 15 % обожженного при 900 °C сланца Мынарал. Твердение 28 сут

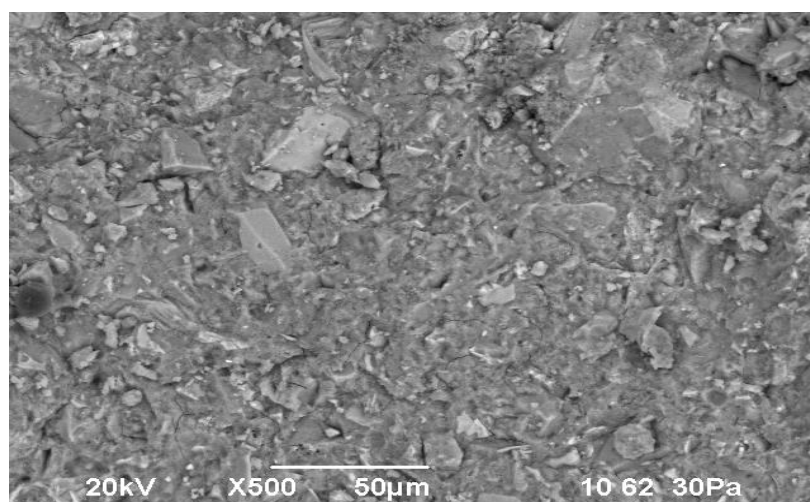
На микрофотографии (рисунок 28) видно, что на начальном этапе основную часть цементного камня без добавок, образуют двухкальциевые гидросиликаты $C_2SH(B)$, представленные в виде бесцветных ромбических призм и частиц неправильной формы[1]. В структуре цементного камня встречается портландит в виде длинных продолговатых крупных кристаллов.

В цементном камне, содержащем 15 % глинистых сланцев Мынарал, обожженных при 900 °С, содержание двухкальциевого гидросиликата $C_2SH(B)$ низкое по сравнению с цементным камнем без добавок. Это связано с взаимодействием гидроксида кальция с аморфными алюмосиликатами, содержащимися в обожженных при температуре 900 °С глинистых сланцах Мынарал, и образованием гелевидных слабокристаллизованных низкоосновных гидросиликатов кальция типа $CSH(B)$. Этот цементный камень имеет самый высокий показатель в процессе определения прочности при сжатии, что подтверждается оптимальной плотной микроструктурой по результатам микроскопических исследований[65].

а



б



В

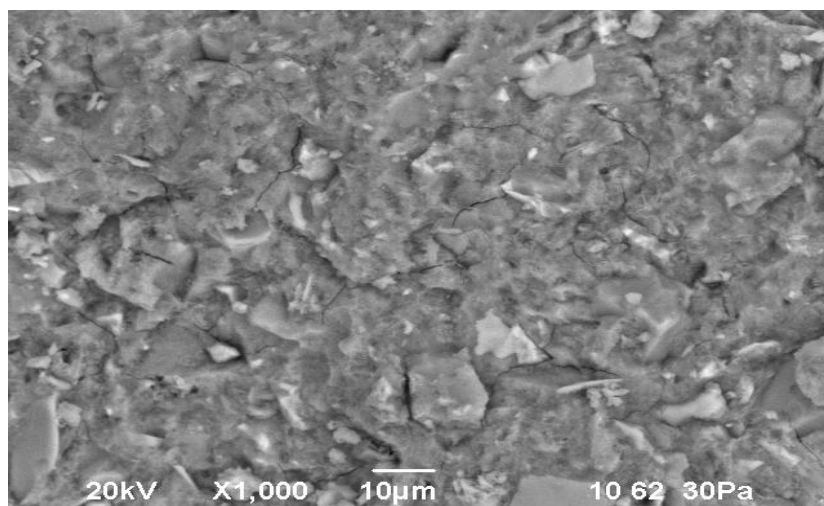
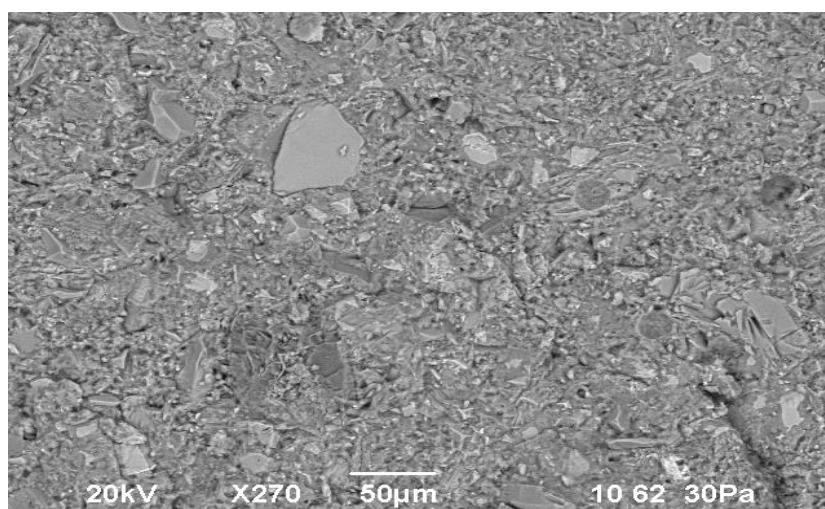
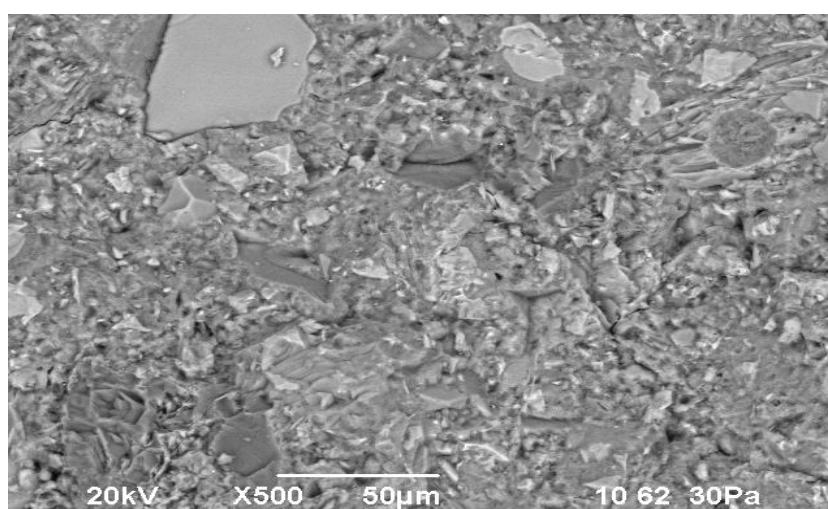


Рисунок 29 - Микрофотографии цементного камня без добавок через 28 сут твердения. Увеличение: а – $\times 250$; б – $\times 500$; в – $\times 1000$

а



б



В

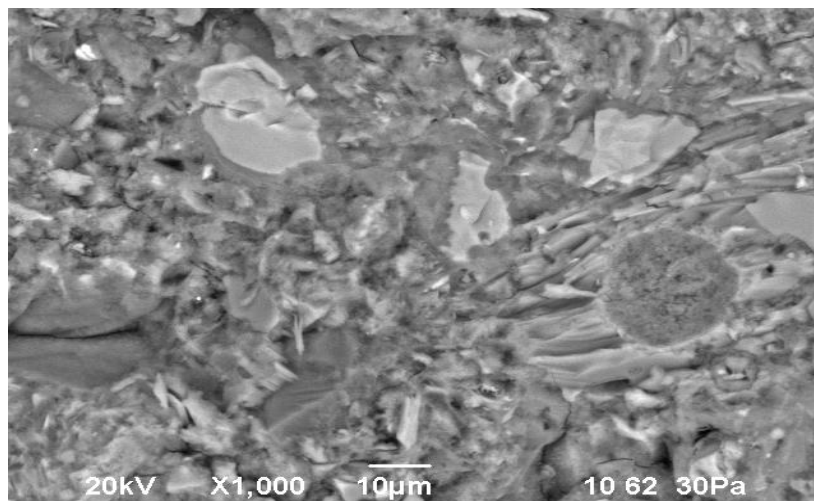


Рисунок 30 – Микрофотографии цементного камня с добавкой 15 % обожженных при 900 °С глинистых сланцев Мынарал, гидратированных в течение 28 сут. Увеличение: а – $\times 250$; б – $\times 500$; в – $\times 1000$

Цементный камень с добавкой 15 % глинистых сланцев Мынарал, обожженных при 900 °С, содержит незначительное количество моносulfатного гидросulfоалюмината кальция, представленного бесцветными гексагональными пластинами ($3\text{CaO} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), этtringита в виде бесцветных длинных иглообразных кристаллов ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$), а также белого неферментированного кальцита - CaCO_3 . Видно (справа) растворение большого кристалла портландита [65].

Исследование процессов гидратации цемента и цементных минералов проводится на специальных микропрепаратах. Микропрепарат готовят из очень мелкого порошка. Его хранят в безводном спирте для получения однородного гранулированного состава.

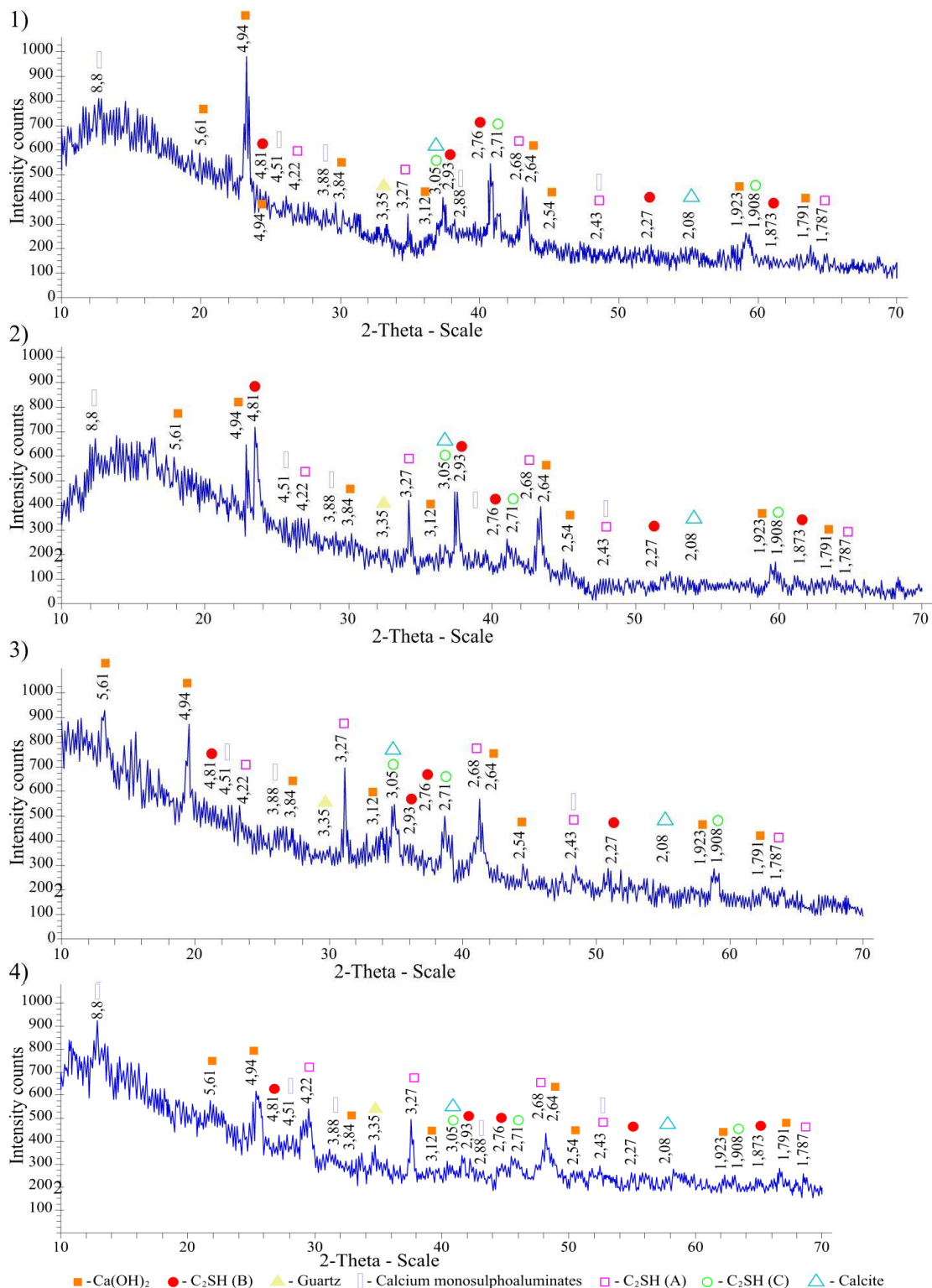
1. Цементный камень без добавок преимущественно состоит из минерала портландита, кроме того, в основном характерны двухкальциевые гидросиликаты низкоосновного типа В и С. Содержание двухкальциевых гидросиликатов типа А низкое.

2. В цементном камне, содержащем 15 % глинистых сланцев месторождения Мынарал, обожженных при 700 °С, уменьшается содержание минерала портландита, где наблюдается увеличение содержания высокоосновных гидросиликатов типов А и В.

3. В цементном камне, содержащем 15% сланца месторождения Мынарал обожженной при температуре 800°С, увеличилось содержание минерала портландита, возросло содержание двухкальциевых гидросиликатов типа А и уменьшилось содержание двухкальциевых гидросиликатов типа В и С.

4. Цементный камень, содержащий 15% глинистых сланцев месторождения Мынарал, обожженных при температуре 900°С, состоит из портландита, двухкальциевых гидросиликатов типа А, а также гелевидных и слабозакристаллизованных низкоосновных гидросиликатов кальция.

Обнаружено небольшое количество моносulfата гидросulfоалюмината кальция - $3\text{CaO} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, во всех цементных камнях, содержащих добавки сланцев месторождения Мынарал (рисунок 31) [65].



1 – ЦК, 2 – с добавкой 15 % обожженного при 700°C глинистого сланца, 3 – с добавкой 15 % обожженного при 800°C сланца, 4 – с добавкой 15 % обожженного при 900°C сланца

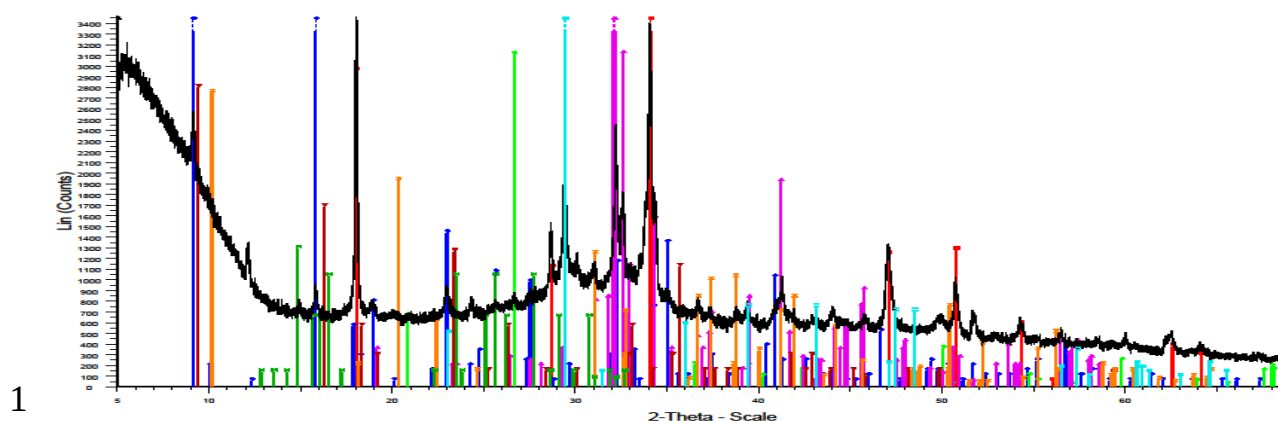
Рисунок 31 – Рентгенограммы цементного камня в возрасте 28 суток, без добавок и с 15 % глинистых сланцев Мынарал, обожженных при 700 – 900 °С

Бездобавочный цементный камень представлен затвердевшим гидросиликатным гелем и гидроалюминатами различного состава. Этtringита не наблюдается, образуется моносulfогидроалюминат кальция. Присутствуют кристаллы портландита и исходные непрореагировавшие фазы белита и алита, а также единичные кристаллы двухкальциевых гидросиликатов типа А.

Характер рентгенограммы на рисунке 31.4 показывает общее снижение интенсивности дифракционных пиков, что связано с повышением содержания в цементном камне гелевидных и слабозакристаллизованных низкоосновных гидросиликатов кальция, которые имеют слабое дифракционное отражение на рентгенограмме.

Цементный камень, содержащий 15 % обожженных при температуре 700 °С глинистых сланцев Мынарал, содержит уже меньшее количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$, повышается содержание гидросиликатов кальция. Для состава, содержащего 15 % сланцев, термоактивированных при 800 и 900 °С, количество портландита еще меньше [65].

1. На рентгенограмме (рисунок 32), зафиксированы следующие минералы: портландит - $\text{Ca}(\text{OH})_2$; кальций моносulfоалюминат - $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$, d/n – 9,8; 5,60; 3,85; 2,74; 2,55 Å. Сингония – гексагональная, Индикаторы элементарных ячеек: a - 11.22400, b - 11.22400, c - 21.40800. $\alpha = 90$, $\beta = 90$, $\gamma = 120$; α -кварц - SiO_2 , Сингония – гексагональная. d/n – 3,34; 1,813; 1,534; 1,372; 1,380 Å. Индикаторы элементарных ячеек: a - 4.92090, b - 4.92090, c - 5.40910. $\alpha = 90$, $\beta = 90$, $\gamma = 120$; кальций гидроалюминаты; кальций гидросulfоалюминат; ларнит, Ca_2SiO_4 , сингония – моноклинная, Индикаторы элементарных ячеек: a - 9.31000, b - 6.75650, c - 5.50590. $\alpha = 90$, $\beta = 90$, $\gamma = 46$, $\gamma = 90$; кальцит - CaCO_3 , сингония – ромбоэдрическая, a - 4.98900, b - 4.98900, c - 17.06200. $\alpha = 90$, $\beta = 90$, $\gamma = 120$ [65].



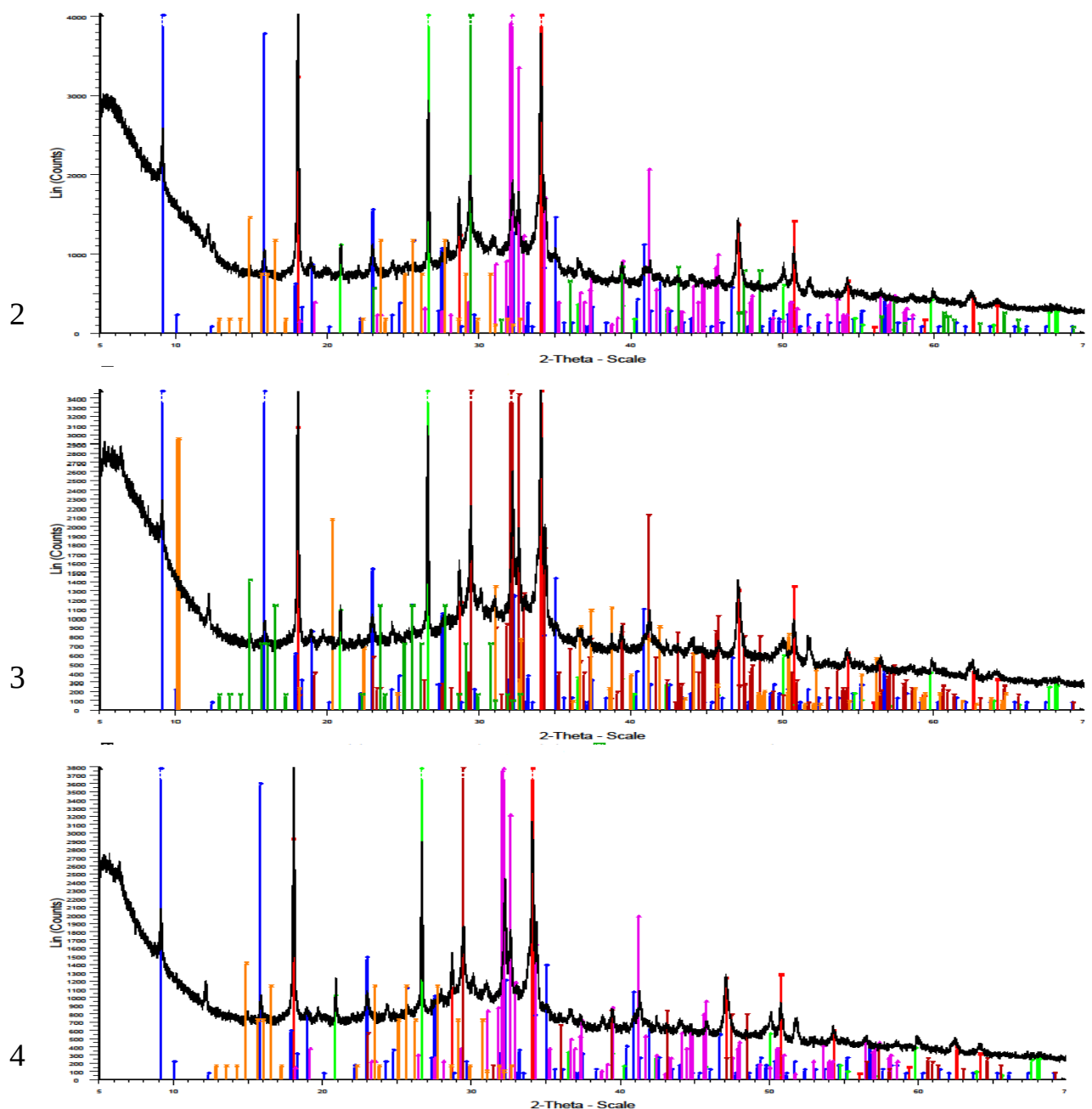


Рисунок 32 - Дифрактограммы ЦК, 28 суток, контрольный и с 15 % АМД Мынарал, термообработанные при 700-900 °С

Проведено исследование микроструктуры цементов с обожженными при 700-900 °С, глинистыми сланами в количестве 5-15 %,.

Исследование микроструктуры проводили с помощью РЭМ [1, 61, 65].

Физическая структура затвердевшего цементного камня представляет собой плотную массу гидратированной твердой фазы с порами различных размеров. Твердая масса гидратов состоит из кристаллов различной формы, аморфных гранул, кроме того, цементный камень содержит частицы не гидратированного клинкера. Отдельные кристаллы в массе цементного камня могут образовывать кристаллические наросты, которые особенно заметны в пределах раздела цементного камня-наполнителя и в порах.

Свойства цементного камня определяются его физической структурой, характеристики его прочности коррелируют со степенью гидратации, формированием твердой фазы и пористостью материала.

Пористость полученного цементного камня составляет 3 %. Структура плотная, с небольшой пористостью. Образуется структура с самой плотной массой, при которой соприкосновения между частицами высоки. Основную связывающую функцию здесь выполняет низкоосновный гидросиликатный гель.

На изготовленном цементном камне обнаружен портландитовый минерал $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в виде бесцветных кристаллов. Минерал портландит является одним из основных составляющих цементного камня. Он обеспечивает быстрое затвердевание цементного камня на ранних стадиях и высокую прочность на ранних стадиях. Также было обнаружено, что в цементных камнях без добавок двухкальциевые гидросиликаты типа C_2SH (A) встречаются в виде бесцветных ромбических призм. Также можно наблюдать двухкальциевые гидросиликаты типа C_2SH (C) в виде бесцветных гранул неправильной формы в небольших количествах [65].

Микроструктура цементного камня плотная и однородная.

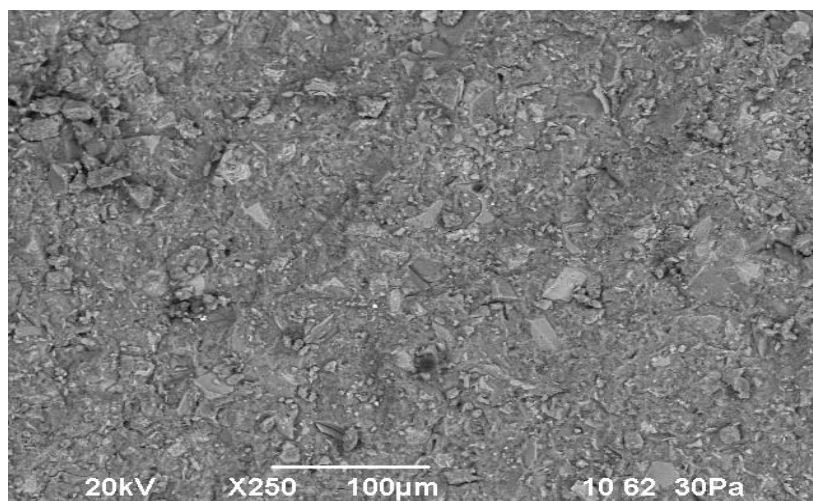
1. В цементном камне (Рисунок 33) образовалось очень небольшое количество моносulfата гидросulfоалюмината кальция в виде гексагональных пластин - $3\text{CaO} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, эттрингита в виде длинных игольчатых кристаллов - $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ и белого не реагирующего кальцита - CaCO_3 ; и частицы кварца - SiO_2 [65].

2. Наблюдается увеличение количества гидросиликатов типа C_2SH (B) в виде ромбических призм C_2SH (A) и мелких волокнистых отложений [65].

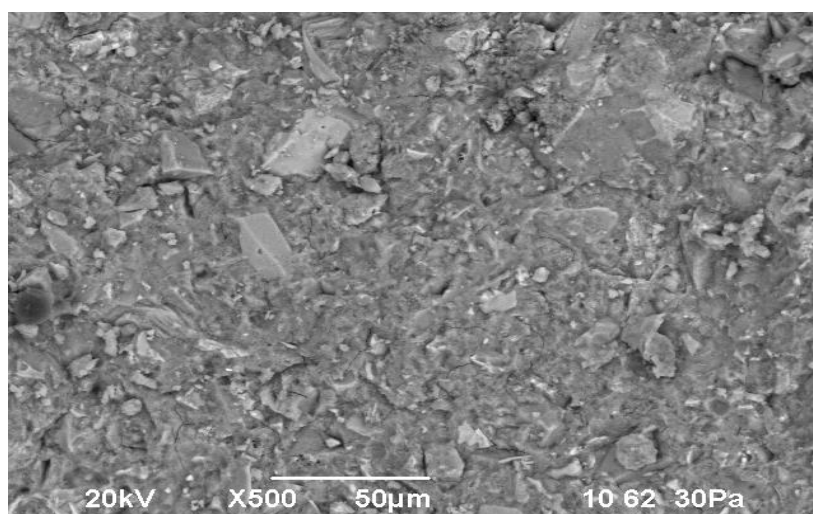
3. Основную кристаллическую часть цементного камня, содержащего 15 % глинистых сланцев месторождения Мынарал, обожженных при 800 °C, составляют гидросиликаты кальция типа C_2SH (B) в виде бесцветных тонких волокон или нитевидных отложений (рисунок 34). Они находятся внутри массы в виде гексагональных пластин и портландитового минерала $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в виде вытянутых кристаллов. Структура цементного камня однородная, плотная, с небольшой пористостью.

То есть эта микроскопическая структура показывает, что основной составляющей гелевой массы в цементном камне являются гелевидные и слабозакристаллизованные низкоосновные гидросиликаты кальция типа $\text{CSH}(\text{B})$, присутствуют также гидросиликаты кальция типа $\text{C}_2\text{SH}(\text{B})$, а минералы портландита находятся внутри этой массы. Такая микроструктура цементного камня свидетельствует о том, что продукты гидратации цементных минералов и продукты взаимодействия АМД с портландитом $\text{Ca}(\text{OH})_2$ хорошо смешиваются, образуя оптимальное количество необходимых гидратных соединений [65].

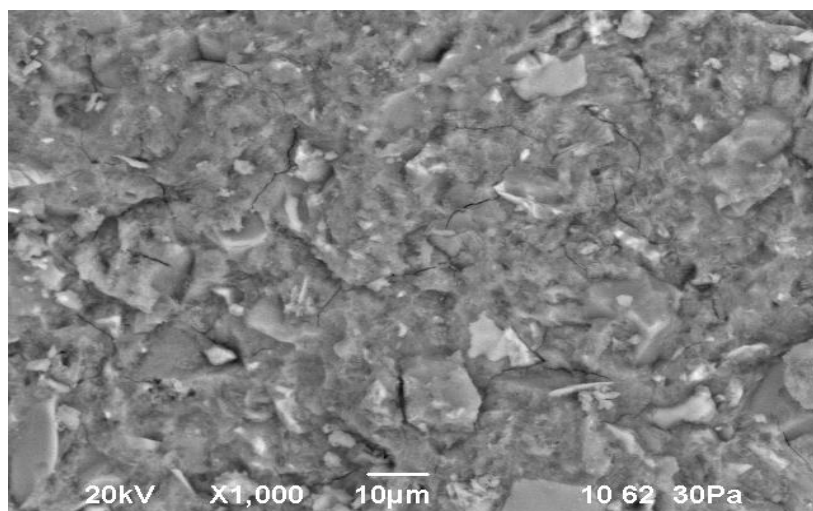
а)



б)

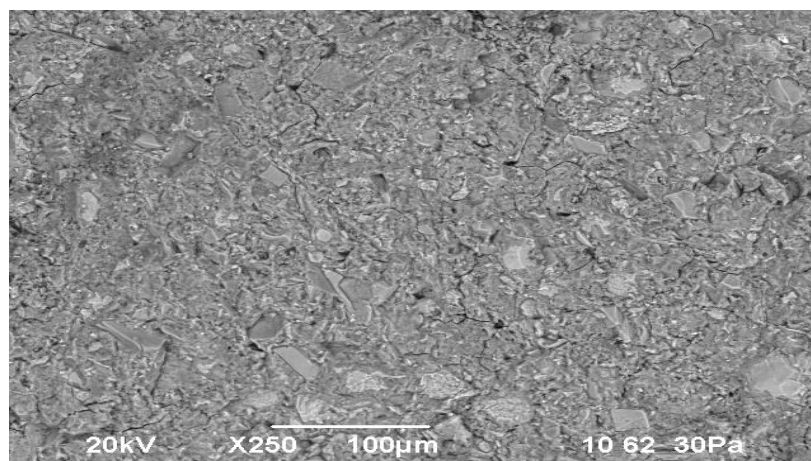


в)

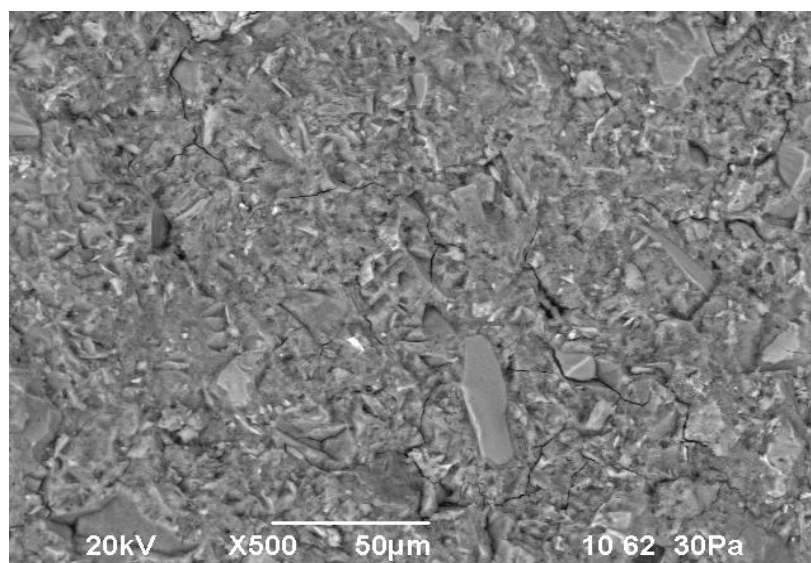


а – * 2 5 0; б – * 5 0 0; в - * 1 0 00

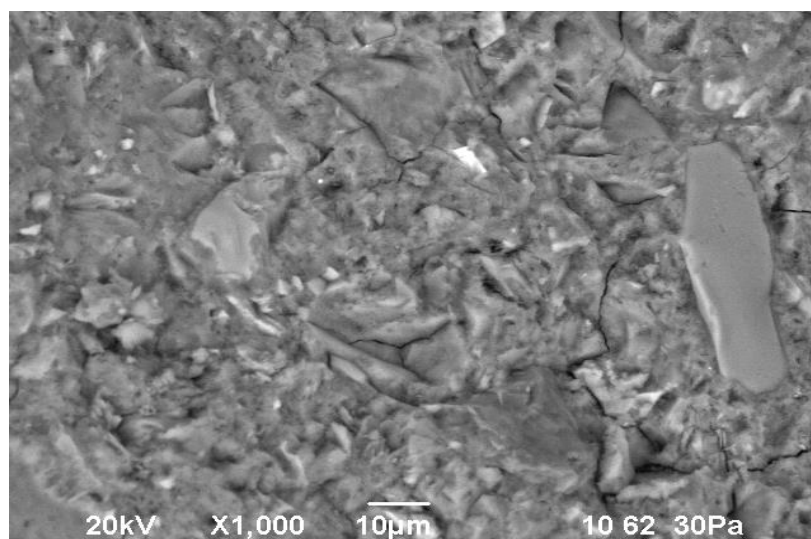
Рисунок 33- Микрофотография контрольного цемента гидратированного в течение 28 суток



а)



б)

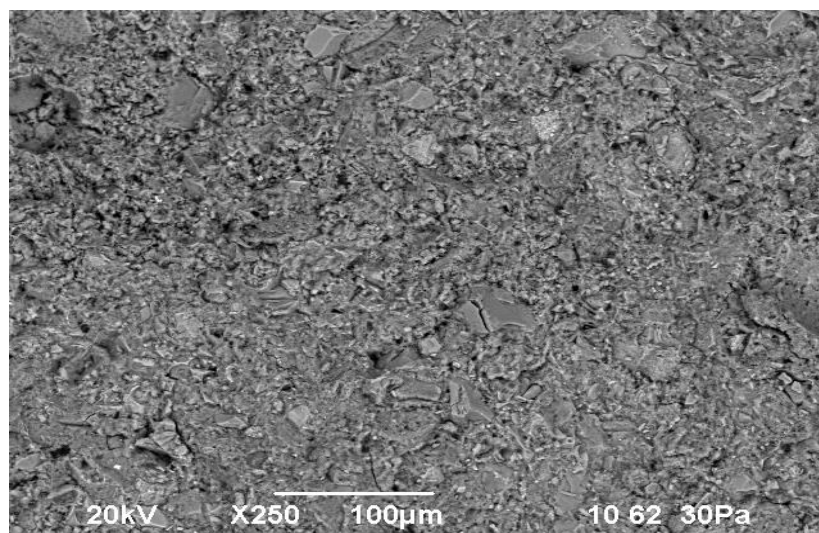


в)

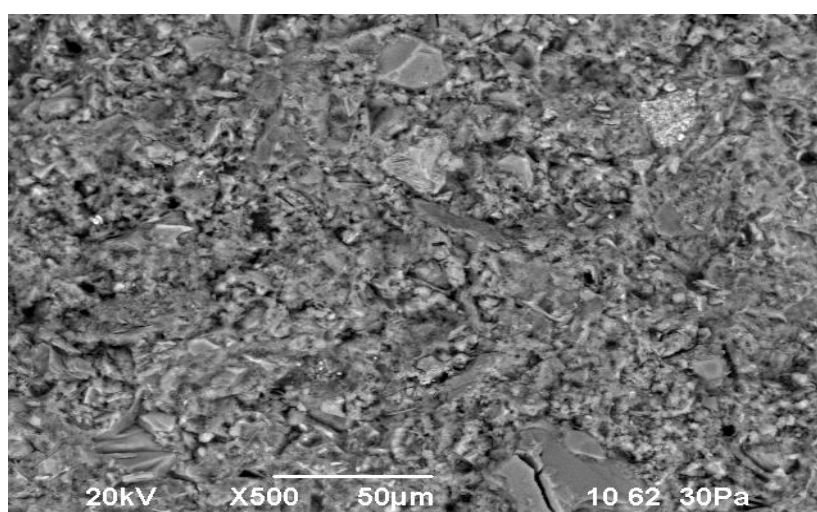
а – x250; б – x500; в-х1000

Рисунок 34 - Микрофотографии цементного камня с добавкой 15 %обожженных при 700 °С глинистых сланцев месторождения Мынарал, гидратированных в течение 28 сут

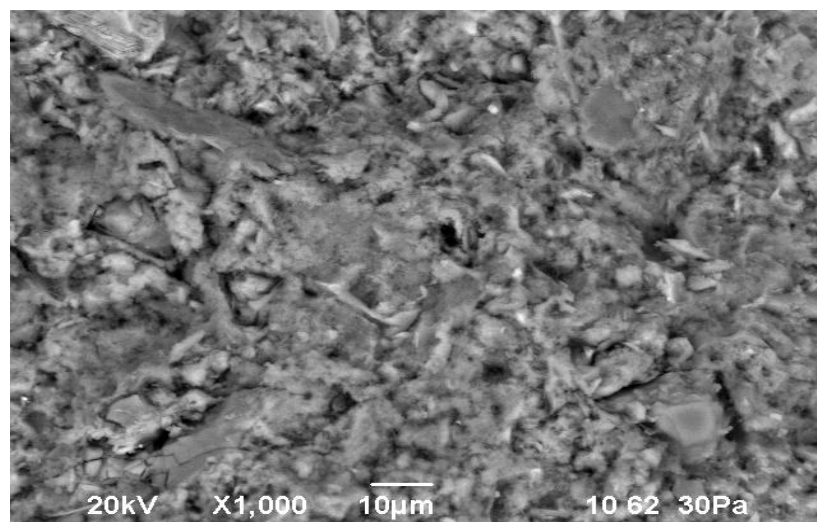
а)



б)



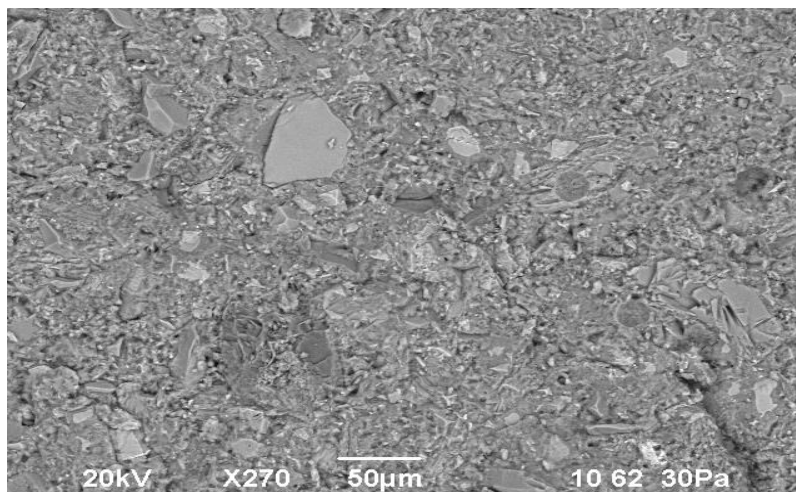
в)



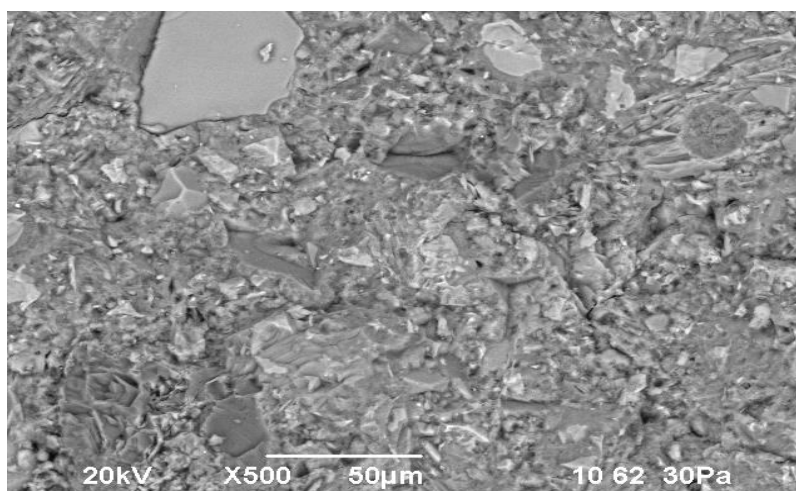
а – x250; б – x500; в-х1000

Рисунок 35 - Микрофотографии цементного камня с добавкой 15 % обожженных при 800 °С глинистых сланцев месторождения Мынарал, гидратированных в течение 28 суток

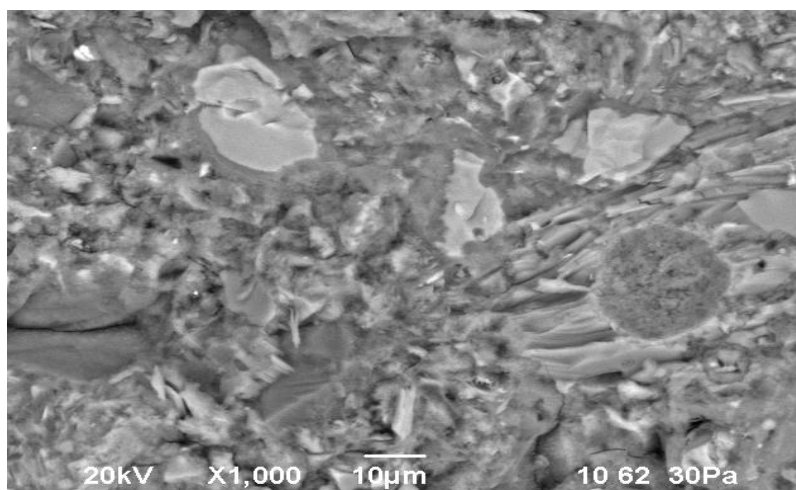
а)



б)



в)



а – x250; б – x500; в-х1000

Рисунок 36 - Микрофотографии цементного камня с добавкой 15 % обожженных при 900 °С глинистых сланцев месторождения Мынарал, гидратированных в течение 28 суток

4. На рисунке 36 встречается портландит в виде длинных продолговатых крупных кристаллов. Содержание C_2SH (В) меньше по сравнению с цементным камнем, содержащим сланец, обожженный при 800

°С. Это связано с введением дополнительного количества оксида кальция в результате диссоциации минерала кальцита, содержащегося в глинистых сланцах, обожженных при температуре 900 °С [1, 65].

Все цементные камни, содержащие 15 % глинистых сланцев месторождения Мынарал, обожженные при 700-900 °С, содержат небольшое количество моносulfатного гидросulfоалюмината и кварца - SiO_2 [61, [65].

Поскольку процессы гидратации портландцемента являются длительными, с течением времени двухкальциевые гидросиликаты кальция переходят в низкоосновные гидросиликаты кальция (типа $\text{CSH}(\text{В})$), являющиеся основными носителями прочности цементного камня.

4.3 Расчет снижения выбросов CO_2 при выпуске композиционных цементов с добавками обожженных сланцев

Производство композиционных цементов обеспечивает экономию клинкерной составляющей при сохранении необходимых физико-механических свойств готового продукта, а также способствует снижению удельного расхода топлива и уменьшению выбросов CO_2 в атмосферу. В соответствии с ГОСТ 31 108–20 20 допускается введение в состав цемента до трёх минеральных добавок разного происхождения [1, 3, 77].

Так, по расчетам выбросов CO_2 в атмосферу на предприятии АО На предприятии «Шымкентцемент» при производстве 1 тонны клинкера образуется 476 кг выбросов углекислого газа (CO_2). Добавление 15 % активной минеральной добавки – обожжённого глинистого сланца месторождения Мынараал – при помоле композиционного цемента позволяет уменьшить долю клинкера в его составе на 15 %.

Таким образом, введение минеральной добавки и снижение доли клинкера на 15 % позволяет уменьшить выбросы CO_2 в атмосферу.

При производстве одной тонны композиционного цемента объем выбросов составит:

$$476 \text{ кг} - (476 \times 0,15) = 404,6 \text{ кг } \text{CO}_2 \text{ на каждую тонну продукции.}$$

Таким образом, использование 15 % разработанной нами минеральной добавки позволяет снизить выбросы на:

$$476 - 404,6 = 71,4 \text{ кг } \text{CO}_2 \text{ на тонну цемента.}$$

Если ежегодный объем выпуска составляет, например, 300 000 тонн композиционного цемента, то общее сокращение выбросов достигнет:

$$300\,000 \times 0,0714 = 21\,420 \text{ тонн } \text{CO}_2 \text{ в год.}$$

Это позволит предприятию укладываться в квоты по выбросам CO_2 и иметь запас для реализации заводам, не укладывающимся в пределы выделенных квот на выбросы углекислоты [65].

4.4 Дозиметрический контроль образцов глинистого сланца, композиционного цемента и образцов балочек из композиционного цемента

На базе Шымкентского городского отделения Филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» КСЭК МЗ РК по Туркестанской области радиологической лаборатории проведены измерения МЭД гамма-излучения. В ходе исследований образцов глинистого сланца, композиционного цемента, образцов балочек из композиционного цемента размерами 4x4x16 см установлено, что уровень радиации не превышает предельно допустимых концентраций и составляет: глинистый сланец - 0,13 мкЗв/час, н/сек (Протокол дозиметрического контроля №50-пл-д-1 /РО-25-01773 от 28.05.2025г. Приложение А Дозиметрический контроль образцов глинистого сланца); композиционный цемент - 0,14 мкЗв/час, н/сек (Протокол дозиметрического контроля №50-пл-д /РО-25-01773 от 28.05.2025г. Приложение Б Дозиметрический контроль образцов композиционного цемента); образцы-балочек из композиционного цемента 0,15 мкЗв/час, н/сек (Протокол дозиметрического контроля №53-пл-д-1 /РО-25-01871 от 04.06.2025г. Приложение В Дозиметрический контроль образцов балочек из композиционного цемента) [78].

Согласно протокола дозиметрического контроля были получены следующие данные (таблица 5).

Таблица 5 – Результаты измерений

Регистрацион-ный номер	Место проведения измерений, проба, образец	Измеренная мощность дозы (мкЗв/час, н/сек)			НД на метод испытаний	Допустимая мощность дозы (мкЗв/час, н/сек)		
		На высоте от пола (грунта)						
		1,5м	1м	0,1м				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Представлен-ная проба -образец глинистого сланца	-	-	0,13	СП, утв. Приказом МЗ за № ҚР ДСМ – 90 от 25.08.2022г.	-	-	0,2+фон
2	Представлен-ная проба -образец композицион-ного цемента	-	-	0,14	СП, утв. Приказом МЗ за № ҚР ДСМ – 90 от 25.08.2022г.	-	-	0,2+фон
3	Представлен-ная проба -образец балочек из композицион-ного цемента 4 х 4 х 16 см	-	-	0,15	СП, утв. Приказом МЗ за № ҚР ДСМ – 90 от 25.08.2022г.	-	-	0,2+фон

Таким образом, измеренная мощность дозы образцов глинистого сланца, композиционного цемента, образцов балочек из композиционного цемента размерами 4х4х16 см составила от 0,13-0,15 мкЗв/час, н/сек, что соответствует требованиям по нормам радиационной безопасности. Допустимая мощность дозы составляет 0,2+фон (мкЗв/час, н/сек).

4.5 Разработка технологического регламента на производство композиционных цементов ТОО «NE Innovation Technology»

1. Общие положения и технические требования

1.1. Область применения Настоящий технологический регламент устанавливает требования к организации и ведению технологического процесса производства Композиционного цемента на основе клинкера и активной минеральной добавки (АМД).

1.2. Обозначение и состав продукта Разработанный цемент соответствует типу ЦЕМ II / А-К (ГлСмМ) по ГОСТ 31108-2020.

Наименование компонента	Обозначение	Массовая доля, %	Назначение
Портландцементный клинкер	К	80-85	Основной вяжущий компонент
Термоактивированный сланец	АМДГлСл	15	Активная минеральная добавка
Гипсовый камень	Г	5	Регулятор сроков схватывания

1.3. Основные технические требования к КЦ

Показатель	Требование	Метод контроля
Класс прочности	32,5 или 42,5	ГОСТ 310.4
Сроки схватывания, начало/конец	Не ранее 45 мин.	ГОСТ 310.3
Содержание SO ₃	Не более 4,0	ГОСТ 5382-2019

2. Требования к исходным материалам

Клинкер должен соответствовать нормативам по содержанию основных клинкерных минералов C₃S (алит), C₂S (белит), C₃A, C₄AF.

Глинистые сланцы Мынаральского месторождения. Глинистый сланец должен иметь высокую пуццолановую активность. Глинистые сланцы дробятся до крупности 2-5 мм и просушиваются при 90 °С в течение 1 часа для удаления физически связанной влаги.

3. Технологический процесс производства КЦ

Технологический процесс включает три основных этапа:
обжиг глинистого сланца.

Дозирование и совместное измельчение.

Гомогенизация, хранение и отгрузка.

3.1. Обжиг глинистого сланца

Обжиг глинистого сланца осуществляется по малоэнергоёмкой схеме с подачей в горячий конец колосникового холодильника без дополнительного расхода топлива.

1. Предварительно подготовленный глинистый сланец подается в колосниковый холодильник.

2. Сланец контактирует с горячим клинкером, выходящим из печи, что обеспечивает его нагрев в диапазоне температур 800 – 900 °С.

3. Температура 900 °С является оптимальной, так как при ней достигается максимальная дегидроксиляция и разрушение кристаллической решетки глинистых минералов, образуя высокоактивную аморфную фазу (метакаолинит).

4. Регулирование температуры активации достигается путем изменения точки ввода сланца в холодильник.

3.2. Дозирование и помол

1. Осуществляется точное автоматическое дозирование компонентов в соответствии с утвержденной рецептурой:

– клинкер: 80-85 %.

– обожженный глинистый сланец 15 %.

– гипс: до 5 %.

2. Осуществляется совместный тонкий помол всех компонентов в цементной мельнице.

Совместный помол обеспечивает равномерное распределение АМД и интенсифицирует процесс, благодаря различиям в измельчаемости компонентов.

Необходимо обеспечить достижение удельной поверхности не менее 4000 см²/г.

4. Контроль качества и транспортирование

4.1. Операционный контроль

Стадия контроля	Объект контроля	Периодичность	Контролируемый параметр
Сырьевой контроль	Исходный сланец, клинкер	Каждая партия	Химический состав, влажность
Активация	Термоактивированный сланец	1 раз в смену	Температура активации 900 ± 10 °С
Помол	Цемент до силоса	1 раз в час	Тонкость помола ($S_{уд}$), SO ₃
Готовый продукт	КЦ из силоса	1 раз в сутки	Прочность (2, 7, 28 суток), сроки схватывания

4.2. Правила эксплуатации и транспортирование КЦ

Транспортировка осуществляется в специализированных вагонах, цементовозах или в герметичных мешках. Должны быть приняты меры, исключающие попадание влаги и загрязнений.

При производстве бетонов на основе КЦ минимальный расход цемента должен составлять: для КиСЦ₁₅ (15 % замещение): Не менее 200 кг/1м³ бетона (Приложение Г Технологический регламент на производство композиционных и специальных цемента).

4.6 Разработка технических условий на производство композиционных цемента ТОО «NE Innovation Technology»

Цемент получают с использованием обожженных глинистых сланцев месторождения Мынарал (ГлСмМ).

Тип КиСЦ	Содержание Клинкера (масс. %)	Содержание ГлСмМ (масс. %)	Содержание природного гипса (масс. %)
ГлСмМ КиСЦ ₁₅	80	15	5
ГлСмМ КиСЦ ₁₀	85	10	5
ГлСмМ КиСЦ ₅	90	5	5

Сокращенные буквенные обозначения включают:

- ГлСмМ – обожженные глинистые сланцы месторождения Мынарал;
- ТМ – тонкомолотый;
- КЦ – композиционный цемент;
- СП – специальный цемент.

Технические требования

КиСЦ должен соответствовать требованиям данных ТУ

Предельно допустимая концентрация пыли в воздухе – 6,0 мг/м³ (по цементу).

Отходы четвертого класса собираются на промышленной площадке, откуда перегружаются в герметичный самосвальный автотранспорт и доставляются на полигон захоронения. Во избежание пыления отходы плотно закрываются полиэтиленовой пленкой.

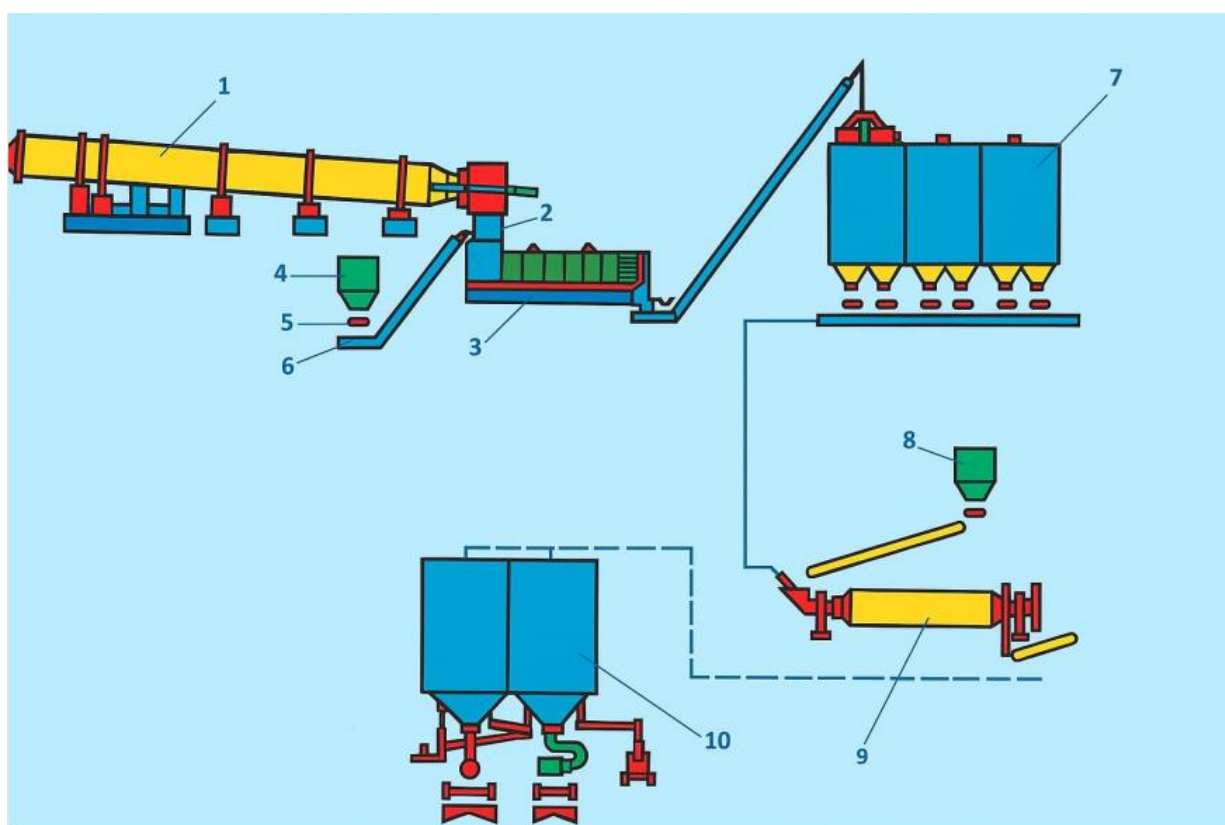
КиСЦ на 1м³бетона должен быть:

- 200 кг для ГлСмМ КиСЦ₁₅;
- 300 кг для ГлСмМ КиСЦ₁₀;
- 350 кг для ГлСмМ КиСЦ₅.

При применении КиСЦ необходимо учитывать повышенную дисперсность и сыпучесть вяжущего и обеспечивать тщательное уплотнение мест возможных протечек в силосах и трубопроводах (Приложение Д Технические условия на производство композиционных и специальных цемента).

4.7 Технологическая схема производства композиционных цемента и компоновка оборудования цементного завода

В результате последовательных физико-химических процессов, происходящих во вращающейся печи, сырьевая смесь преобразуется в портландцементный клинкер. Как показано на рисунке 37, полученный клинкер охлаждается в колосниковом холодильнике. В тот же холодильник посредством тарельчатых питателей подаются глинистые сланцы, которые проходят термообработку. Поступающие на завод глинистые сланцы предварительно измельчаются в дробилке, после чего при помощи ленточного конвейера транспортируются на склад добавок 4, где также осуществляется хранение дробленого гипса.



1 - вращающаяся печь; 2 - шахта холодильника; 3 - колосниковый холодильник; 4 - бункер глинистого сланца; 5 - дозатор; 6 - шнековый конвейер; 7 - силосный склад клинкера и обожженного глинистого сланца; 8 - бункер с гипсом; 9 - мельница; 10 - силос композиционного цемента.

Рисунок 37 – Схема компоновки оборудования производства композиционного цемента

Клинкер, обожжённые глинистые сланцы и гипс при помощи грейферных кранов подаются в бункеры цементных мельниц. Дозирование исходных материалов в мельницу 5 осуществляется с использованием дозаторов, преимущественно весового типа, обеспечивающих повышенную точность подачи. Цементные мельницы оснащены двухступенчатыми системами очистки аспирационного воздуха, включающими аспирационные шахты, циклонные установки и электрофильтры, что обеспечивает

эффективное улавливание пылевых частиц. Полученный цемент с помощью пневмокамерных насосов транспортируется сжатым воздухом в цементные силосы, где производится его выдержка в течение 2-3 недель. Из силосов цемент через донные или боковые пневморазгрузатели подаётся в специализированные железнодорожные вагоны или автоцементовозы для последующей перевозки навалом. Часть продукции отгружаются в тары – бумажные мешки вместимостью 50 кг либо в специализированных контейнерах типа «Big-Ben» вместимостью 1 т. Цемент из бункера направляется в упаковочную машину, после чего упакованный материал загружается в вагоны или автотранспортные средства для отправки потребителям (Рисунок 38).

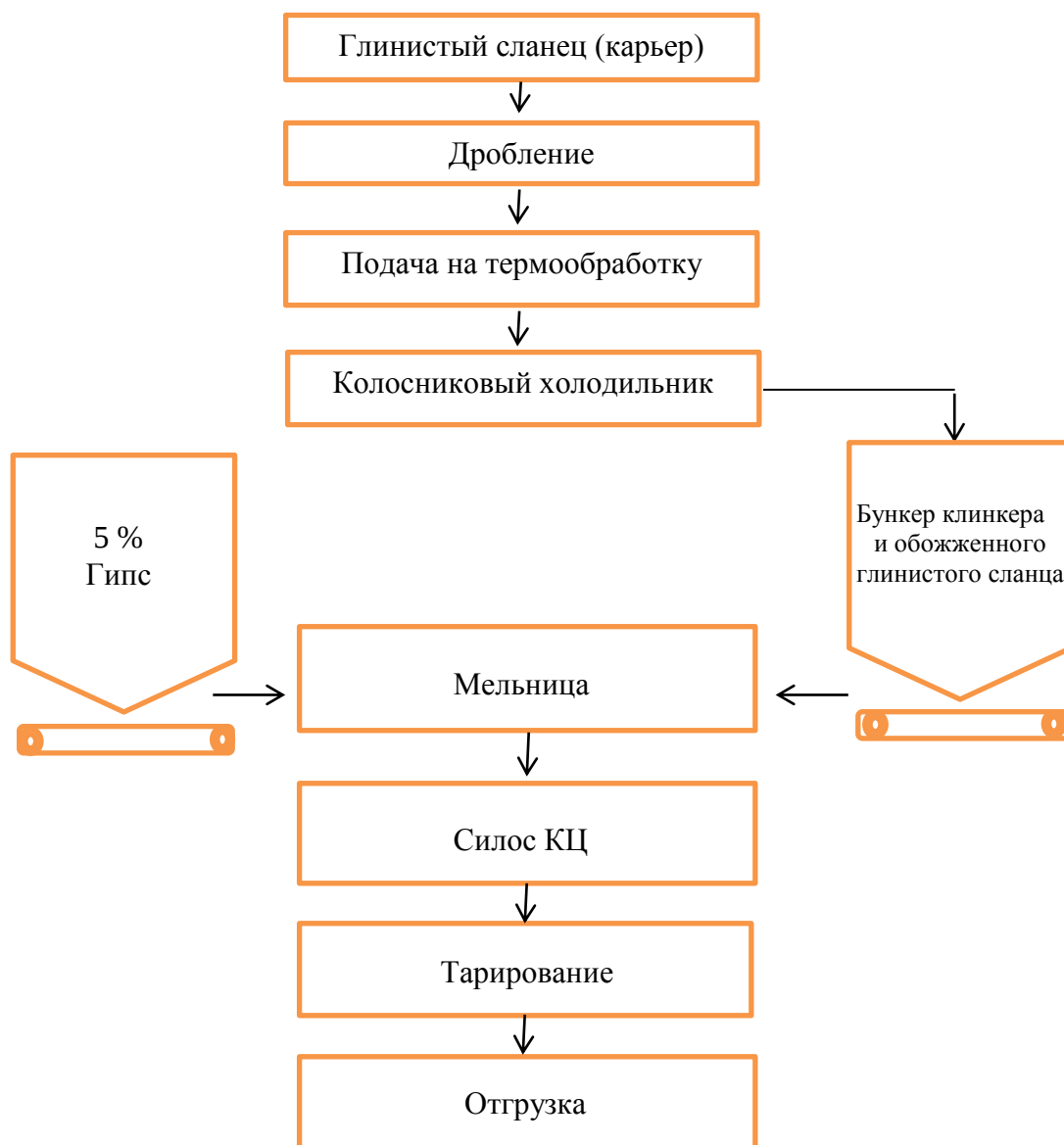


Рисунок 38 – Технологическая схема производства композиционного цемента

Выводы по главе

На основании проведенных экспериментальных исследований по термической активации глинистых сланцев, разработке оптимальных сырьевых смесей и испытанию физико-механических свойств композиционного цемента были получены и вынесены следующие ключевые выводы:

Установлен оптимальный режим активации: Комплексный термический анализ (ТГ/ДТА) и РФА глинистых сланцев подтвердили, что температура 900 °С является оптимальной для достижения максимальной деструкции слоистых силикатов и формирования аморфной (метастабильной) фазы при минимальных энергозатратах.

Исследование пуццолановой активности (методом поглощения $\text{Ca}(\text{OH})_2$) подтвердило, что глинистый сланец, обожженный при 900 °С, обладает наивысшей реакционной способностью, что делает его эффективной АМД для замещения части портландцементного клинкера.

Разработаны оптимальные составы КЦ: Определены ресурсосберегающие и малоэнергоёмкие составы композиционных цементов с частичным замещением клинкера термоактивированным глинистым сланцем (АМД).

Установлена оптимальная дозировка АМД (глинистый сланец 900 °С), которая обеспечивает максимальный синергетический эффект, выражающийся в приросте прочности в поздние сроки твердения.

Испытания показали, что КЦ, содержащий АМД, характеризуется следующими улучшенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с чистым портландцементом:

- снижение тепловыделения при гидратации (важно для массивных бетонных конструкций).
- повышенная коррозионная стойкость (за счет пуццолановой реакции и уплотнения структуры цементного камня).

Обоснована возможность внедрения разработанной технологии производства КЦ на действующих цементных заводах Казахстана, что не требует значительных капитальных вложений.

Доказано, что использование местного сырья и техногенных отходов, наряду со снижением температуры обжига и замещением клинкера, обеспечивает существенное снижение себестоимости готовой продукции и уменьшение углеродного следа цементного производства.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

5.1 Расчет экономической эффективности внедрения минеральных добавок в производство путем тепловой обработки подачи глинистых сланцев в различные температурные зоны холодильника вращающейся печи

Глинистые сланцы месторождения Мынарал доставляются на цементный завод, проходят двухступенчатое дробление и вводятся в морозильную камеру вращающейся печи в объеме 15 % от общего потока. Попадая на слой горячего клинкера + 1300 °С, они нагреваются до 900 °С. Такой тепловой удар вызывает необходимые изменения в их химико-минералогическом составе и кристаллической структуре, фактически, термически активируя их.

Данный метод технологически реализуем и высокоэкономичен, поскольку не требует ни дополнительного оборудования, ни отдельного расхода топлива. Использование 15 % термоактивированных сланцев снижает потребление клинкера и, как следствие, повышает производительность печи на 15 %. Предварительное смешивание клинкера и обработанной минеральной добавки на этапе помола оптимально влияет на активность и качество получаемого композиционного цемента.

5.2 Исходные данные расчета внедрения технологии

Почасовая производительность печи – 104,17 т/ч или 2500 т/сут.

Для расчетов выбран цементный завод.

1. Удельный расход топлива: уголь-110 кг/т клинкера;
2. Годовой объем производства клинкера и цемента:
 - клинкер - $2500 \times 365 \times 0,9 = 810\,000$ т.
 - цемент - 952 941 т.
3. Годовой расход угля – 89100 кг/т клинкера.
4. Оптовая цена 1 т цемента – 14900 тг.
5. Цена отпуска 1 т цемента под налог на добавленную стоимость-16500 тг
6. Затраты на измельчение 1 т цемента - 1920 тг.
7. Накладные расходы - 8 %.
8. Вид и цена минеральных добавок:
 - глинистый сланец - 2200 тг/т.
9. Подача смесей в морозилку – 10 %.

Первичные выводы:

Выручка на 1 т цемента (средняя)

$$\frac{16\,104\,702\,900}{952\,941} = 16\,900 \text{ тг/г}$$

Суммарные годовые затраты (из выручки и прибыли)

$$\text{Затраты}_{\text{год}} = \text{Выручка} - \text{Прибыль} = 16\,104\,702\,900 - 13\,817\,644\,500 = 2\,287\,058\,400 \text{ тг}$$

→ Средняя себестоимость по данным (выручка–прибыль):

$$\frac{2\,287\,058\,400}{952\,941} = 2400 \frac{\text{тг}}{\text{г}}$$

Расчёт ключевых статей затрат на основе подробных данных

Топливо (уголь)

Удельное: 0,110 т угля / т клинкера.

Годовой уголь (т): $810\,000 \times 0.110 = 89\,100 \text{ т}$.

Стоимость топлива в год: $89\,100 \text{ т} \times 11\,000 \text{ тг/т} = 980\,100\,000 \text{ тг}$.

Топливные затраты на 1 т цемента:

$$\frac{980\,100\,000}{952\,941} \approx 1\,028,5 \text{ тг/г}$$

Минеральные добавки (глинистый сланец)

Доля добавки = 10 % → объём добавки = $0.10 \times 952\,941 = 95\,294,1 \text{ т}$.

Стоимость добавок в год: $95\,294,1 \times 2200 = 209\,647\,020 \text{ тг}$

Стоимость добавки на 1 т цемента = $209\,647\,020 / 952\,941 \approx 220 \text{ тг/т}$.

Измельчение (мел): 1 920 тг/т цемента → в год:

$$1\,920 \times 952\,941 = 1\,829\,646\,720 \text{ тг}$$

Накладные расходы (8 %).

Расчет рентабельности

Операционная прибыль = Выручка – Полные операционные затраты.

Рентабельность продаж (общая) = (Операционная прибыль / Выручка) × 100 %.

Альтернативная метрика – рентабельность по затратам = (Операционная прибыль / Затраты) × 100 %.

Прибыль на 1 т = Операционная прибыль / Объём (т).

Входные агрегированные значения:

Выручка (год): 16 104 702 900 тг

Объём производства цемента: 952 941 т/год

Общая рентабельность (рентабельность продаж) = 30,46 %.

Рентабельность по затратам = 43,80 %.

Прибыль на 1 т цемента = $\approx 5\,147,92$ тг/т.

Выручка на 1 т = 16 900 тг/т; затраты на 1 т = 11 752,08 тг/т.

При текущих ценах, объёмах и принятых расходных нормативов завод остаётся прибыльным: маржа продаж $\approx 30,5$ %, что для производственного предприятия – хорошая рентабельность.

Рентабельность по затратам (profit/costs) $\approx 43,8$ % показывает, что на каждую 1 тг затрат приходится $\sim 0,438$ тг прибыли.

5.3 Расчет экономической эффективности после внедрения мероприятия

В результате внедрения новой технологической схемы, предусматривающей использование минеральных добавок в количестве 15 %, подаваемых в морозильную камеру, наблюдается условный рост производительности печи на ту же величину. До реализации мероприятия производительность вращающейся печи составляла 104,17 т/ч, после внедрения технологии данный показатель увеличился до 114,6 т/ч. Соответственно, годовой объём производства клинкера возрос до 903 506 т, а объём производства цемента – до 1 062 827 т.

Годовой прирост объёмов производства клинкера и цемента, обусловленный внедрением мероприятия, составил 81 000 т и 95 294 т соответственно. Для реализации технологии потребовалось внесение минеральной смеси на основе глинистого сланца в количестве 81 000 т в год. Себестоимость данной смеси, исходя из цены 2 200 тг за тонну, составила 178,2 млн. тг, что соответствует удельной стоимости 2 200 тг на 1 т клинкера.

С учётом затрат на измельчение и накладных расходов себестоимость одной тонны цемента с добавлением глинистого сланца составляет 4 450 тг. При отпускной цене 16 900 тг за тонну прибыль от реализации 1 т цемента достигает 12 450 тг, а совокупная прибыль от дополнительного объёма реализации 95 294 т.

При рассмотрении варианта реализации по оптовой цене 14 500 тг за тонну прибыль от 1 т цемента составляет 10 050 тг, что соответствует годовому приросту прибыли 957 704 700 тг.

После внедрения технологии отмечается снижение удельного расхода угля на производство клинкера. Если до модернизации расход топлива составлял 89 100 т в год, то после внедрения он снижается до 83,83 кг/т клинкера. При цене угля 11 000 тг/т годовая экономия топлива составляет 8 921 т, что эквивалентно 98 131 000 тг.

Затраты на внедрение включают строительство каркасного здания габаритами 6×4,5×4 м, изготовление и монтаж приёмного бункера ёмкостью 4 т, приобретение оборудования, включающего весовой ленточный дозатор и шнек, а также пусконаладочные работы.

Результаты сравнительного анализа технико-экономических показателей до и после внедрения мероприятия представлены в таблице 6, демонстрируя существенное повышение производительности оборудования, снижение удельных энергетических затрат и увеличение прибыли предприятия.

Таблица 6 - Результаты расчета относительных технико-экономических показателей внедрения мероприятия

Показатель	До введения технологии	После введения технологии
Почасовая производительность печи, т / ч	104,17	114,6
Удельный расход топлива: уголь, кг / т клинкера;	110	83,83
Годовой объем производства цемента, т	952 941	1 062 827
Годовой доход, тенге	16 104 702 900	17 291 113 200
Годовая прибыль, тенге	13 817 644 500	14 775 349 200

Таким образом, внедрение новой технологической схемы, включающей использование минеральных добавок, привело к существенному повышению технико-экономических показателей предприятия.

5.4 Математическое моделирование свойств композиционных цементов с пониженными выбросами углекислого газа

Моделирование свойств композитных цементов предполагает прогнозирование таких характеристик, как прочность, морозостойкость и долговечность, на основе анализа их состава и структуры. Цель состоит в том, чтобы оптимизировать свойства цементных композитов, состоящих из цементного камня и различных наполнителей, таких как зерна или гранулы. Основные подходы к моделированию включают модели структурного моделирования, методы гомогенизации и анализ кинетики гидратации.

Методы моделирования

1. Структурное моделирование: этот подход основан на представлении композита как набора отдельных компонентов с учетом их распределения, ориентации и взаимодействия. Моделирование структуры цементных композитов позволяет прогнозировать такие свойства, как пористость и прочность.

2. Методы гомогенизации: суть этих методов заключается в получении среднеэффективных характеристик композита на основе локальных характеристик его фаз (цементный камень, наполнитель, добавки). Такие модели помогают оценить общие свойства материала, например, твердость.

3. Моделирование гидратации: поскольку гидратация цемента является основным процессом, определяющим его свойства, моделирование этого процесса позволяет предсказать кинетику затвердевания и формирование микроструктуры. Учитываются такие параметры, как состав цемента, примеси и их влияние на состав жидкой фазы.

4. Параметрические модели: включают математические модели, которые определяют зависимость прочности и других характеристик от состава и технологических параметров, таких как степень однородности материала.

Основные свойства, подлежащие моделированию

1. Прочность: моделирование прочности позволяет предсказать, как изменение состава, включая количество и тип примесей, повлияет на конечную прочность материала. На прочность влияют степень увлажнения, пористость и микроструктура.

2. Морозостойкость и водостойкость: эти свойства зависят от микроструктуры и пористости композита. Моделирование позволяет предсказать, как добавление различных компонентов, таких как мономерно-полимерные или органоборановые комплексы, повлияет на эти характеристики.

3. Твердость: для моделирования характеристик твердости цементных композитных систем, особенно в соотношениях вода-цемент, используются расчетные модели, учитывающие предварительно насыщенный пористый заполнитель.

4. Формирование структуры цементного камня.

Использование методов многомасштабного моделирования позволяет проводить прогнозирование процессов структурообразования, происходящих в цементном камне на стадиях начального и последующего твердения. Компьютерные модели дают возможность отслеживать не только изменение пористости и морфологии гидратных фаз, но и выявлять закономерности формирования зон локальных напряжений, возникающих в результате усадки, химических реакций и внешних нагрузок. Подобный подход особенно актуален для высоконапряжённых и модифицированных видов цемента, которые демонстрируют повышенные прочностные характеристики и долговечность по сравнению с традиционными портландцементными системами.

Влияние модифицирующих добавок на свойства композитов.

Применение цифровых моделей позволяет определить вклад различных добавок в физико-химические и механические параметры цементных вяжущих, а также прогнозировать изменение структуры материала на уровне как макро-, так и микромасштаба. В рамках моделирования могут быть учтены процессы гидратации, сорбции, фазовых превращений, тепло- и массообмена, что делает такой подход эффективным инструментом для создания цемента с заданными эксплуатационными свойствами.

1. Активные минеральные добавки.

Введение в систему золы-уноса, гранулированного доменного шлака, диатомита и других пуццолановых материалов вызывает изменения в кинетике гидратации, сокращая содержание клинкерных минералов и способствуя формированию дополнительного количества вторичных гидросиликатов кальция (C-S-H). Это приводит к снижению водопотребности, изменению реологических характеристик, увеличению плотности структуры и повышению коррозионной стойкости. Математическое моделирование позволяет проводить оптимизацию количественных пропорций минеральных добавок с учётом факторов, влияющих на прочность, долговечность, тепловыделение и деформационные свойства системы. Кроме того, моделирование используется для интегральной оценки комплексного эффекта добавок, например, их влияния на уменьшение карбонизации, повышение устойчивости к сульфатной коррозии, модификацию микроструктуры порового пространства и изменение модуля упругости цементного камня.

2. Химические добавки: моделирование помогает предсказать влияние химических добавок (пластификаторов, ускорителей или ингибиторов затвердевания) на свойства цементных бетонов и оптимизировать их состав.

3. Микродисперсные смеси: введение микродисперсных смесей и пластификаторов позволяет повысить эффективность термической обработки бетонных изделий, а также их морозостойкость и светостойкость.

Математическая модель представляет собой формализованное описание проектируемого объекта, в котором реальные процессы и характеристики заменяются их математическими аналогами. Уровень адекватности такой модели определяется степенью соответствия её структуры и получаемых решений реальному объекту и поставленной проектной задаче.

Переменные параметры объекта, обозначаемые как X , формируют n -мерное параметрическое пространство R_x , которое рассматривается как метрическое пространство поиска решений. Размерность данного пространства определяется количеством включённых в модель переменных величин. Аналогично, совокупность независимых входных переменных Y образует входное метрическое пространство R_y .

Если каждый из параметров пространства R_y имеет заданный диапазон допустимых значений, то множество входных переменных не заполняет всё пространство, а ограничивается его подпространством. Таким образом, набор переменных Y_{YY} задаёт внешние условия функционирования исследуемого объекта.

В качестве параметров математической модели могут выступать:

- конструктивно-технические характеристики объекта, остающиеся неизменными в процессе проектирования;
- внешние физические факторы среды, воздействующие на объект и не поддающиеся управлению;

- тактические и эксплуатационные параметры, которые задаются в соответствии с целями проектирования и требованиями к итоговым характеристикам системы.

Взаимосвязь между входными и выходными величинами формируется на основе выбранных законов, уравнений и допущений, что позволяет проводить вычислительные эксперименты, оптимизацию и прогноз поведения объекта без необходимости физического моделирования.

Линейное пространство математических моделей выход рассматриваемой обобщенной образовательной модели составляет метрическое пространство критериев RG. Классификация математических моделей будет зависеть от использования управления процессом. Математические модели делятся на следующие типы:

1. Прогностические модели (модели неуправляемых вычислительных процессов).

Данный класс моделей предназначен для получения информации о состоянии и поведении исследуемой системы во времени и/или пространстве без воздействия на неё управляющих параметров. Основной задачей таких моделей является предсказание динамики процессов при заданных начальных и граничных условиях. Подобные модели находят применение в задачах теплопереноса, распределения электрического потенциала, химической кинетики, диффузионных и гидродинамических процессов. Их результатом является оценка эволюции системы при известных физических законах, без принятия решений об оптимизации или управлении.

2. Оптимизационные модели. В отличие от прогностических, данные модели ориентированы на поиск наилучшего (оптимального) состояния системы с точки зрения заранее определённого критерия – экономического, технологического, энергетического и т.д. Выделяют два типа оптимизационных моделей:

- Стационарные модели, применяемые преимущественно на этапе проектирования объектов и инженерных систем, когда рассматривается установившееся состояние, не зависящее от времени.

- Динамические модели, учитывающие изменение параметров во времени и используемые как в проектных задачах, так и для управления развитием процессов в реальном времени (например, в технологических, экономических, экологических и производственных системах).

В рамках оптимизационного моделирования выделяют два методологических направления:

1. Детерминированные модели, в которых все входные параметры заданы строго и не содержат неопределённости. Такие модели позволяют получить однозначное решение при наличии полной информации об объекте.

2. Стохастические модели, описывающие системы, в которых часть входных параметров является случайной величиной или содержит вероятностную составляющую. Эти модели применяются, когда

функционирование объекта подвержено неопределённости, внешним возмущениям, изменямости среды или неполноте данных.

Таким образом, выбор типа математической модели определяется как характером исследуемого процесса, так и целями моделирования – прогноз, анализ, оптимизация или управление.

Методы поиска экстремума функции нескольких переменных, формализованные в условиях определённых ограничений, относятся к области математического программирования. Данная категория методов применяется при решении оптимизационных задач, в которых необходимо определить максимальное или минимальное значение целевой функции при наличии ограничений на параметры модели.

В рамках данного исследования был выполнен регрессионный анализ экспериментальных данных, характеризующих количественные соотношения в исследуемых образцах. В качестве входных (факторных) параметров рассматривались: водоцементное отношение, содержание сланцевой добавки и средняя плотность материала. Выходным (результатирующим) параметром выступала прочность на сжатие, определяемая для каждого композиционного состава.

Для проведения анализа использована матрица планирования эксперимента, представляющая собой статистическую структуру, обеспечивающую выявление взаимосвязей между независимыми факторами и откликом системы. Применение матрицы планирования позволяет:

- оценить вклад каждого фактора в формирование исследуемого показателя,
- количественно выразить степень корреляции между переменными,
- построить математическую модель отклика,
- осуществлять прогнозирование поведения системы при изменении факторных параметров,
- принимать обоснованные инженерные решения на этапе оптимизации состава материалов.

Расчёт матрицы планирования выполнялся следующим образом:

	<i>a11</i>	<i>a12</i>	<i>a13</i>
<i>a11</i>	1		
<i>a12</i>	0,861844	1	
<i>a13</i>	0,484544	0,426959	1

Каждая элементарная ячейка в матрице планирования отражает характер статистической зависимости между двумя конкретными параметрами модели. Значения рассчитанных коэффициентов корреляции позволяют количественно оценить степень связности факторов с откликом системы. Чем выше абсолютная величина коэффициента, тем более выражено влияние соответствующего фактора на результирующий показатель. В ходе вычислительного анализа было установлено, что полученные коэффициенты имеют приемлемые значения, что

свидетельствует о достаточной степени влияния рассматриваемых параметров на выходную характеристику.

Одним из ключевых критериев качества построенной регрессионной модели является коэффициент детерминации R^2 . Этот показатель отражает долю вариации отклика, которая может быть объяснена влиянием включённых в модель предикторных переменных. Значение R^2 изменяется в диапазоне от 0 до 1:

- $R^2=0$ означает полное отсутствие прогностической способности модели – зависимая переменная не объясняется факторами;
- $R^2=1$ соответствует идеальной связи, при которой модель полностью описывает поведение отклика без остаточной ошибки.

Таким образом, чем ближе коэффициент детерминации к единичному значению, тем выше качество аппроксимации экспериментальных данных и тем надёжнее полученная регрессионная зависимость.

<i>Регрессионная статистика</i>	
Множественный R	0,729163065
R-квадрат	0,531678775
Нормированный R-квадрат	0,414598469
Стандартная ошибка	7,061618353
Наблюдения	16

Одним из значимых параметров регрессионной модели является свободный член, расположенный на пересечении строки «Y-пересечение» и столбца «Коэффициенты». Этот показатель интерпретируется как значение зависимой переменной при нулевых значениях всех независимых факторов, то есть является базовым уровнем отклика системы. Согласно полученным расчётам, величина свободного члена составляет 12,0390461, что отражает исходное значение моделируемого показателя при отсутствии влияния варьируемых параметров.

<i>Коэффициенты</i>	
Y-пересечение	12,0390461
Переменная X 1	0,110414707
Переменная X 2	5,028931751
Переменная X 3	0,176040385

Значения остаточных отклонений, полученные в результате расчётов, имеют малую величину, что свидетельствует о соответствии модели заданным критериям точности. На следующем этапе проводится оценка стандартных ошибок, отражающих среднее отклонение экспериментальных значений от теоретически рассчитанной регрессионной линии. Полученные величины стандартных погрешностей также находятся в допустимых

пределах, что подтверждает корректность построенной модели и её статистическую надёжность.

В ходе обработки данных дополнительно вычисляются ключевые статистические параметры, среди которых:

df (degree of freedom) — число степеней свободы регрессионной модели. Данный показатель определяется количеством включённых в уравнение коэффициентов (включая свободный член) и служит основой для последующего применения критериев значимости, таких как критерий Фишера и t-критерий Стьюдента.

$$df = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{(s_1^2/n_1)^2/(n_1 - 1) + (s_2^2/n_2)^2/(n_2 - 1)}$$

SSi- это сумма квадратов расчетных остатков и рассчитывается по следующей формуле:

$$SS_l = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_l)^2 = \sum_{i=1}^a (n_i - 1)s_i^2 = (n_1 - 1)s_1^2 + \dots + (n_i - 1)s_i^2$$

MS_a - средние остаточные квадраты вычислений. Рассчитывается по следующим формулам:

$$MS_a = \frac{SS_a}{a - 1}$$

$$MS_l = \frac{SS_l}{a - 1}$$

Статистика Фишера FFF вычисляется как отношение среднеквадратичной регрессии (MSreg_{reg}) к среднеквадратичной ошибке (MSres_{res}):

$$F = \frac{MS_a}{MS_l}$$

Данный показатель позволяет оценить, обеспечивает ли построенная регрессионная модель статистически значимое улучшение аппроксимации данных по сравнению с моделью, не содержащей независимых переменных. Иными словами, критерий FFF служит индикатором полезности модели в целом, проверяя, существует ли хотя бы одна предикторная переменная, оказывающая значимое влияние на отклик.

Если же все коэффициенты регрессии оказываются статистически незначимыми, то и значение F-критерия не превышает критического уровня, что указывает на отсутствие влияния предикторов на зависимую переменную.

Результаты расчетов следующие:

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Регрессия	3	9,352554824	2,450851608	4,5411461	0,023910963
Остаток	12	8,397445176	4,866453765		
Итого	15	12,75			

Т-критерий Стьюдента используется для определения статистической значимости различий между средними значениями. Для вычисления t-критерия Стьюдента выполняется сравнение средних значений анализируемого показателя в двух выборках. Расчёт производится как разность средних значений параметра в первой и второй исследуемых группах, нормированная на величину стандартной ошибки разности. Таким образом, t-статистика отражает степень отличия средних значений групп с учётом вариации данных и выборочного объёма.

Значения, приведённые в столбце *t-статистика* в таблице результатов, представляют собой вычисленные показатели критерия Стьюдента, которые определяются по следующему выражению:

$$t = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Результат расчетов регрессионного анализа выглядит следующим образом:

	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>
Y-пересечение	12,0390461	0,632983753	0,769280379	0,4566023
Переменная X 1	0,110414707	0,464411171	0,237752047	0,8160843
Переменная X 2	5,028931751	0,002570257	0,052695899	0,334608
Переменная X 3	0,176040385	0,10517502	0,673785136	0,1200175

Запишем уравнение регрессии:

$$Y = 12.0390461 + 0.11414707 \cdot x_1 + 5.028931751 \cdot x_2 + 0.176040385 \cdot x_3$$

Для дальнейших вычислений мы будем использовать среду MATLAB. MATLAB-это программная платформа для инженеров и ученых для анализа и проектирования систем и продуктов. MATLAB - это матричный язык MATLAB, который позволяет естественным образом выражать вычислительную математику. Среда MATLAB сочетает в себе среду рабочего стола, настроенную для повторяющихся процессов анализа и проектирования, с языком программирования, который напрямую отражает математику матриц и массивов. Блокнот включает в себя редактор для создания сценариев, который объединяет код, вывод и форматированный текст. MATLAB представляет собой широко используемую программную

среду, ориентированную на обработку матричных данных, численное моделирование и выполнение вычислительных процедур различной сложности. Язык MATLAB относится к категории высокоуровневых технических языков программирования и применяется для создания моделей механических, химических, технологических и других объектов, основанных на системах уравнений и численных алгоритмах.

Среда MATLAB включает в себя как обширный набор прикладных библиотек (toolbox), так и интегрированную среду разработки, позволяющую выполнять вычисления, визуализировать результаты, осуществлять обработку данных и автоматизировать расчётные процедуры. С использованием функциональных средств MATLAB была реализована регрессионная модель, в которой параметры уравнения рассчитываются на основе заданных значений факторов.

После выполнения программного кода построена графическая интерпретация полученной зависимости, представляющая собой визуализированный результат моделирования (рисунок 39).

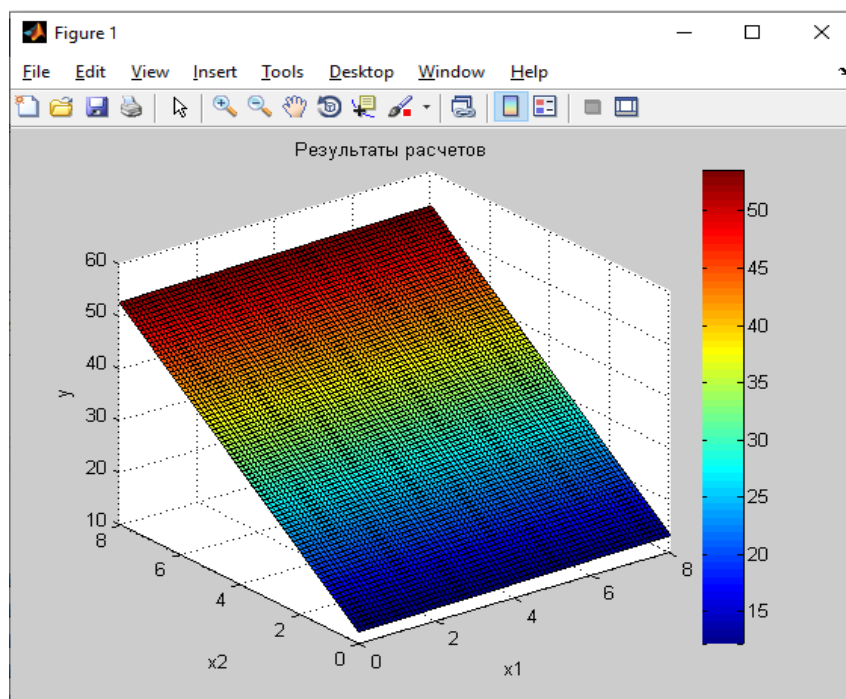


Рисунок 39 – Результаты расчетов с помощью функции surf

По результатам расчетов при значении 50, 51 получается наивысшая плотность при сжатии. Также можем отобразить зависимость Y от входных параметров в трехмерном пространстве (рисисунок 40)

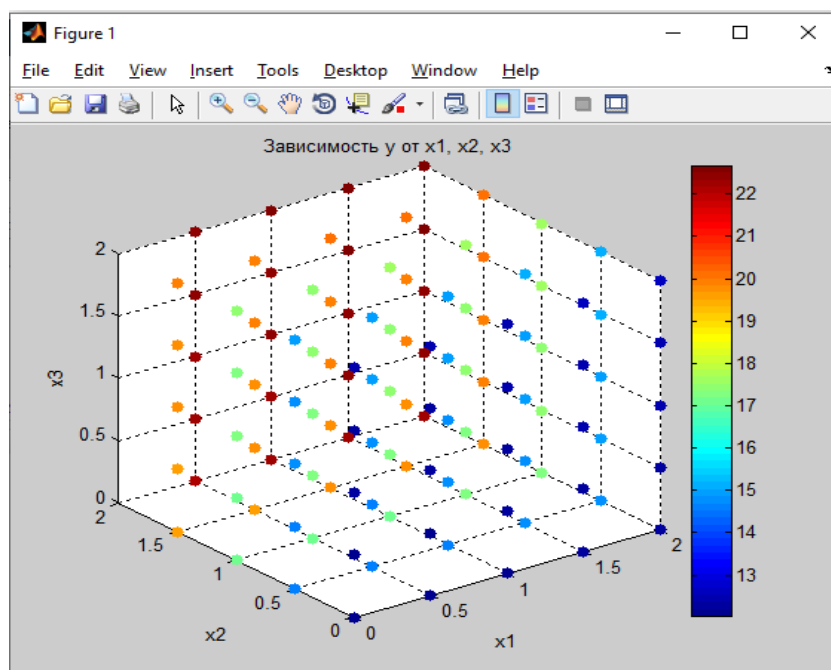


Рисунок 40 – Зависимость Y от x1,x2,x3

Проведем такие же расчеты для месторождения Куюк и получаем уравнение регрессии:

$$Y=6,563+0,108*x1+0,489*x2+0,109*x3$$

Решение уравнения множественной регрессии может быть выполнено не только аналитически, но и с применением вычислительных средств, что особенно важно при обработке больших массивов данных и при необходимости визуализации результатов. В среде программирования MATLAB реализован встроенный функционал для работы с регрессионными моделями, что позволяет как вычислить коэффициенты уравнения, так и построить соответствующие графики зависимости отклика от варьируемых факторов.

После задания матрицы входных данных (факторов) и вектора отклика, а также выполнения регрессионного анализа с использованием функции regress или операторов матричного вычисления, результаты модели могут быть интерпретированы графически. Для построения поверхности отклика применяется команда mesh или surf.

На рисунке 41 представлена полученная в MATLAB трёхмерная поверхность отклика, отображающая взаимосвязь зависимой переменной ууу с двумя варьируемыми факторами при фиксированном значении третьего фактора. Такой подход позволяет наглядно оценить характер влияния входных параметров, выявить области максимума или минимума функции отклика, а также установить зоны факторных значений, обеспечивающих оптимальный результат.

Использование трехмерной графической интерпретации является важным инструментом в анализе регрессионных моделей, поскольку

позволяет визуально подтвердить адекватность построенной модели, оценить линейность или нелинейность зависимости и выявить возможные отклонения, неочевидные при стандартной табличной форме представления данных.

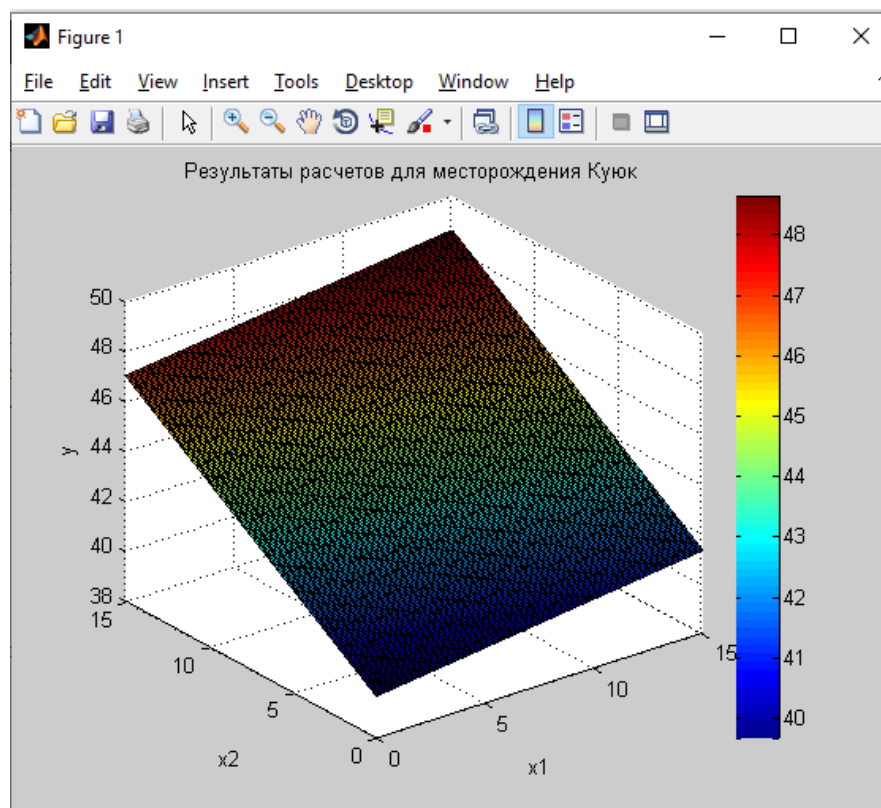


Рисунок 41 – Результаты расчетов для месторождения Куюк

По результатам расчетов при значении 49 получается наивысшая плотность при сжатии.

5.5 Бизнес модель по производству композиционного цемента

5.5.1 Актуальность и глобальный контекст

Строительный сектор является одним из ключевых драйверов мировой экономики, однако производство его основного связующего элемента – традиционного портландцемента (ПЦ) – остается одним из крупнейших источников антропогенных выбросов углекислого газа CO_2 (до 8 % мировых выбросов). В условиях глобального изменения климата, ужесточения экологического законодательства и стремления к декарбонизации промышленности, существует острая потребность в разработке и коммерческом внедрении низкоуглеродных, ресурсосберегающих альтернатив, которые не только снижают воздействие на окружающую среду, но и обеспечивают высокую производительность и долговечность строительных конструкций.

Дополнительным стратегическим вызовом является проблема накопления и утилизации промышленных отходов (металлургических шлаков, золы-уноса, отходов горнодобывающей промышленности), которые занимают значительные территории и представляют экологическую угрозу. Инновационная цементная промышленность должна рассматривать эти отходы не как нагрузку, а как ценное вторичное сырье.

Цель и инновационное ядро проекта.

Настоящий бизнес-план представляет собой детальное обоснование проекта по созданию современного производственного комплекса, специализирующегося на выпуске композиционных и специальных цементов нового поколения. Ключевым элементом нашей стратегии является замещение значительной доли энергоемкого цементного клинкера на высокоактивные минеральные добавки, полученные из доступного и недорогого сырья.

Инновационное ядро проекта базируется на двух взаимосвязанных направлениях:

Производство композиционного цемента на основе обжиговых глин: Использование активных минеральных добавок в виде обожженных глинистых сланцев, полученных при строго контролируемой и значительно пониженной температуре $\approx 900^{\circ}\text{C}$ (в сравнении с 1450°C для клинкера). Этот процесс, основанный на низкотемпературном обжиге, обеспечивает высокую пуццолановую активность материала, гарантирует прочность конечного продукта.

Рыночная возможность и ценностное предложение

Рынок демонстрирует устойчивую готовность к принятию «Зеленых» строительных материалов, особенно в сфере инфраструктурного и жилищного строительства, где требования к долговечности и экологической ответственности постоянно растут. Наше ценностное предложение тройное:

Экологичность: Значительное снижение углеродного следа, снижение потребления природных ресурсов и эффективная утилизация промышленных отходов.

Экономическая эффективность: Снижение себестоимости продукции за счет частичного отказа от дорогостоящего клинкера и использования вторичного сырья.

Улучшенные характеристики: Производство цементов с повышенными эксплуатационными свойствами, что обеспечивает конкурентное преимущество перед традиционными продуктами.

Задача бизнес-плана

Основная задача данного документа – всестороннее обоснование экономической целесообразности, технической реализуемости и инвестиционной привлекательности проекта. Бизнес-план включает анализ рынка, описание операционной модели, подробный финансовый прогноз, оценку рисков и стратегию выхода на рынок, демонстрируя потенциал для создания лидирующей компании в сегменте устойчивых строительных

материалов. Успешная реализация проекта позволит занять прочную позицию на рынке, генерировать стабильный доход и стать ключевым игроком в зеленой трансформации региональной строительной индустрии.

5.5.2 Бизнес модель проекта

После окончания строительства и запуска цеха будет запущено производство с последующей продажей композиционных и специальных цементов марки ГлСмМ КиСЦ₁₅, ГлСмМ КиСЦ₁₀, ГлСмМ КиСЦ₅.

Продукцию будущего производства планируется реализовывать в основном на рынке Казахстана и СНГ. Для продвижения продукции на рынок необходимо:

- заключение договоров на поставку продукции с крупными предприятиями стройиндустрии и строительными организациями;
- создание сети торговых представителей в ближайших крупных городах;
- заключение договоров на оптовые поставки продукции с оптовыми компаниями;
- организация деятельности служб маркетинга и сбыта.

Средняя себестоимость нашего продукта составляет 19 335 тенге/тонна, а продаваемая цена от 22 500 до 23 500 тенге/тонна.

Разработанный нами новая технология и вид цемента дает возможность зимнего бетонирования с меньшими денежными и временными затратами, что приведет к снижению стоимости «зимнего удорожания», проблема которого весьма актуальна в центральных, восточных и северных регионах Казахстана.

Внедрение в рынок нового материала даст толчок для пересмотра перечня выпускаемой продукции на основе портландцемента, то есть предоставит возможность модернизировать цементную промышленность с учетом показателей, по которым ГлСмМ КиСЦ₁₅ превосходят классические цементы. Появится возможность для субъектов малого и среднего предпринимательства занять определенную нишу в цементной промышленности страны.

Основными потребителями цемента на Казахстанском рынке являются предприятия производящие бетонные изделия, товарный бетон и строительные компании возводящие здания и сооружения различного назначения, а также частные лица занимающиеся самостроем.

Основные конкурентные преимущества малоклинкерных тонкомолотых цементов перед промышленными портландцементами в более высокой технологичности, низкой себестоимости, высоком качестве бетонных смесей и бетона на их основе, а также высокоэкологичность

Например: г. Тараз, где будет построен завод, по производству безобжиговых цементов, имеет удачное географическое расположение. Находясь в равной отдаленности от г.г. Алматы, Шымкент, Кызылорда

компания в полной мере может рассчитывать в перспективе захватить свою долю рынка сырья цементной продукции Южного региона и в последующем наращивать производство и сбыт.

Расчетные модели рассчитаны на производство композиционных цементов ГлСмМ КиСЦ₁₅приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Калькуляция себестоимости продукции (услуги) при работе в одну смену (8 часов)

№	Наименование показателей	Ед. изм.	Кол-во	Цена, тенге	Сумма, тенге
1	Затраты на закуп сырья:				686 000
1.1	Клинкер	тонна	0,8	9500	608 000
1.2	Глинистый сланец	тонна	0,15	5000	60 000
1.3	Природный гипс	тонна	0,05	4500	18 000
2	Фонд оплаты труда				453 820
2.1	ЗП рабочих	тг			271 060
2.2	ЗП ИТР				182 760
3	Коммунальные услуги				119 503
3.1	Электроэнергия	кВт/час	51	29,29	119 503
4	Налоги				218 677
5	Прочие расходы				68 800
	ИТОГО ЗАТРАТЫ (ИЗ)				1 546 800
8	Выход основного продукта	тн	80	19 335	1 546 800
6	Себестоимость 1 единицы продукции (услуги) в 1 смену, тенге	1 546 800/80 =19335		19 335	19 335
7	Реализационная цена (РЦ)			22 500	
8	Доход:				
	- в смену (8 часов)	тн	80	22 500	1 800 000
	- в сутки (2 смены)	тн	160	22 500	3 600 000
	- в год	дни	330	3 600 000	1 188 000 000
9	Прибыль:				
	- в смену	тг	80	1 800 000- 1 546 800	253 200
	- в сутки (2 смены)	тн	80x2	3 600 000- 1 546 800x2	506 400
	- в год	дни	330	506 400	167 112 000

Выбирая сегментацию рынка для успешного формирования спроса и предложения по географическому признаку, компания будет руководствоваться следующими критериями:

- доступность освоения сегмента;
- ёмкость данного сегмента рынка, рыночная ниша практически свободна, так как аналогичной продукции в Казахстане нет;
- приемлемые условия по сервису;

- возможная эффективная работа в этом сегменте на перспективу.

При этом компания выбирает стратегию полного охвата, которая предполагает предложение выбранному сегменту полного ассортимента продукции, удовлетворяющей все группы потребителей.

Концепция позиционирования основных продуктов будет поддерживаться именем компании, и отражаться на упаковке в качестве логотипа, а также будет отличаться системным подходом к управлению маркетингом. Для этого создаётся служба маркетинга, которая будет заниматься: сбором маркетинговой информации, анализом позиционирования товаров конкурентов, разработкой комплекса маркетинга и осуществлять маркетинговый контроль.

Таким образом, выпуская композиционные цементы в объеме 50 000 тн. в год хотим завоевать 1,5 % от общего объема выпускаемой продукции рынка РК.

Потенциальными потребителями разработанной нами композиционного цемента являются следующие предприятия производства железобетонных изделий (ЖБИ) и строительной отрасли (СО):

- АО «Әскери құрылыс» для ЖБИ и СО годовая потребность предприятия составляет 450 000 тн.;
- ТОО «Тараз-Цемент Строй» для ЖБИ и СО годовая потребность предприятия составляет 600 000 тн.;
- ТОО Construction Plant «Kaz Construction Group» для ЖБИ и СО годовая потребность предприятия составляет 450 000 тн.;
- ТОО «Самир АС» для ЖБИ и СО годовая потребность предприятия составляет 500 000 тн.;
- ТОО «Проекты Домов» для ЖБИ и СО годовая потребность предприятия составляет 30 000 тн.;
- Филиал PPP Development ТОО «Bi Global» для ЖБИ и СО годовая потребность предприятия составляет 450 000 тн.

Разработанной инновационной технологии производства композиционных цементов заинтересованы ТОО «Казфосфат» г. Тараз, ТОО «Казпром Кызылорда» с. Яны-Курган, Кызылординская область и Туркестанский область.

Оценка конкурентоспособности проекта.

В Казахстане производство композиционных цементов не освоено. В качестве заменителей композиционных цементов могут быть бездобавочные портландцементы марки ПЦ500 Д0 и выше.

Цементные заводы выпускающие бездобавочные портландцементы марки ПЦ500 Д0 и выше: ТОО «Жамбыл Цемент», ТОО «Стандартцемент», ТОО «Шымкент цемент».

При расчёте цен будет применён рыночный (маркетинговый) метод с ориентацией и на потребителя и на конкурентов. Исходя из маркетинговых исследований, можно предположить, что средняя цена за 1 тн цемента составит 22 500 тенге.

Основные потребители композиционного цемента специализированные предприятия производящие ЖБИ и товарный бетон, строительные компании и частные застройщики.

Сравнительный анализ с конкурентами

В разделе предоставляется подробная информация о технических и потребительских характеристиках предлагаемого продукта, работы или услуги. Кроме того, необходимо провести сравнительный анализ с существующими аналогами и заменителями на рынке (Таблица 11).

Таблица 11 – Сравнительный анализ с конкурентами

Показатель	Ед.из мере ния	Композици онный цемент (КиСЦ) ГлСмМ КиСЦ ₁₅	ТОО «Стандарт Цемент» ПЦ400 ДО	АО «Шымкент цемент» ПЦ400 ДО	ТОО «Жамбыл цемент» ПЦ400 ДО
Энергозатраты: -помол клинкера -помол ГлСмМ	кВт	51	115	115	115
Расход условного топлива (газ): -обжиг клинкера -сушка шлака	м ³	-	220 -	220 -	220 -
Экологи-ческий ущерб		Отсутствие выбросов в атмосферу	Выработка известняка и глины (на 1 т цемента требуется от 1,5 до 2,4 т нерудного сырья); -большие выбросы CO ₂ и пыли (более 900 кг CO ₂ и 300-900 кг пыли на 1 т цемента).	Выработка известняка и глины (на 1 т цемента требуется от 1,5 до 2,4 т нерудного сырья); -большие выбросы CO ₂ и пыли (более 900 кг CO ₂ и 300-900 кг пыли на 1 т цемента).	Выработка известняка и глины (на 1 т цемента требуется от 1,5 до 2,4 т нерудного сырья); -большие выбросы CO ₂ и пыли (более 900 кг CO ₂ и 300-900 кг пыли на 1 т цемента).
Реализационная цена, тенге		22 500	36 000	36 000	36 000

Композиционные цементы обладают следующие строительно-технические характеристики:

- конкурентная цена (ниже чем аналоги на 20 %);
- реальной активностью в 2-2,5 раза больше обычного цемента;
- сроки схватывания вяжущего практически совпадают со сроками схватывания портландцементов;

- имеет низкую нормальную густоту - в среднем 18 %;
- позволяет резко увеличить удобоукладываемость бетонной смеси при сокращении расхода воды, что способствует повышению прочности бетона в 1,5-2 раза и повышению морозоустойчивости.

При добавлении различных органических добавок в композиционные цементы становится возможным получить материал со свойствами керамики, асбоцемента, ацеида и даже, в ряде случаев, заменить металл.

Новый строительный материал открывает перспективы применения при изготовлении всевозможных декоративных и отделочных изделий. Диапазон их применения можно расширить, используя минеральные красители.

Бетонная смесь из композиционного цемента сохраняет свои формовочные свойства в течение 3-8 часов, через 8-10 часов после затворения начинается бурный рост прочности.

5.5.3 Экономический эффект и рентабельность производства композиционного цемента

Анализ калькуляции себестоимости и планируемого объема продаж подтверждает высокую экономическую эффективность проекта по производству композиционного цемента с использованием обожженных глинистых сланцев.

Экономическая целесообразность достигается за счет замещения дорогостоящего клинкера более дешевым сырьем (глинистым сланцем), что напрямую снижает себестоимость конечной продукции и обеспечивает высокую рентабельность.

Расчет рентабельности и себестоимости (На основе 100 % загрузки)

Снижение себестоимости является ключевым экономическим преимуществом проекта.

Структура себестоимости и экономия на сырье

Анализ показывает, что наибольший удельный вес в затратах занимают сырье и фонд оплаты труда.

Показатель	Значение (за 1 смену / 80 тн)	Доля в общих затратах
Итого затраты (за 80 тн)	1546800 тенге	100 %
Затраты на сырье	686 000 тенге	44,3 %
Фонд оплаты труда	453 820 тенге	29,3 %

Эффект замещения клинкера:

- Стоимость клинкера (0,8 тн): 608 000 тенге (9500 тенге/тн).
- Стоимость глинистого сланца (0,15 тн): 60 000 тенге (5000 тенге/тн).

Использование сланца в количестве 15 % от общего веса тонны цемента при обжиге (что учтено в коммунальных затратах) позволяет значительно снизить затраты на сырье по сравнению с классическим портландцементом.

Рентабельность продукции
Валовая рентабельность производства подтверждает высокую прибыльность:

Показатель	Значение	Расчет
Себестоимость 1 тн	19335 тенге	1546800/80
Средняя реализационная цена 1 тн (РЦ)	≈ 23000 тенге	(На основе продуктовой линейки)
Валовая прибыль с 1 тн	≈ 3665 тенге	23000–19335
Валовая рентабельность	≈ 18,9%	(3665/19335)×100 %

Уровень рентабельности 18,9 % является высоким для капиталоемкого производства и свидетельствует о конкурентном преимуществе продукта.

Долгосрочный экономический эффект (5-летний прогноз)

Планирование объема продаж демонстрирует быстрый выход на проектную мощность и существенный рост доходов в постреализационный период.

Динамика выхода на проектную мощность

Проект предполагает быстрый рост загрузки мощностей:

- Год 2: 15 % загрузки (7 920 тн).
- Год 3: 50 % загрузки (26 400 тн).
- Год 4: 100 % загрузки (52 800 тн), что соответствует расчетной годовой мощности (330 дней × 2 смены × 80 тн).

Годовые и совокупные доходы

Общий объем выручки демонстрирует стабильный финансовый поток после выхода на полную мощность.

Год	Объем реализации (тн)	Итого Доход (тенге)
2	7 920	182160000
3	26 400	607200000
4	52 800	1214400000
5	52 800	1214400000
Совокупный Доход (Годы 2–5)	140040	3218160000

Расчет валовой прибыли, основанный на себестоимости 19335 тенге/тн и прогнозе доходов:

Год	Итого Доход (тенге)	Итого Затраты (тенге)	Валовая Прибыль (тенге)
2	182160000	153049200	29110800
3	607200000	510444000	96756000
4	1214400000	1020888000	193512000
5	1214400000	1020888000	193512000
Совокупная Валовая Прибыль (Годы 2–5)	-	-	512890800

Выводы по разделу

Экономическая оценка внедрения малоэнергоемкой технологии производства композиционного цемента с использованием термоактивированных глинистых сланцев подтвердила ее высокую коммерческую и технологическую эффективность.

Главный экономический эффект достигается за счет замещения 15% дорогостоящего портландцементного клинкера низкостойимостной активной минеральной добавкой (термоактивированным глинистым сланцем).

Расчеты показывают, что внедрение 15 % термоактивированных сланцев приводит к существенному снижению себестоимости 1 тонны готового композиционного цемента (с ≈ 23000 тенге до ≈ 19335 тенге), что делает продукт высококонкурентным на рынке.

Применение глинистых сланцев Мынаральского месторождения, являющихся местным и легкодоступным сырьем, устраняет затраты на импорт или транспортировку дорогостоящих привозных добавок.

Предложенная методика термической активации сланцев путем их подачи в морозильную камеру вращающейся печи (800–900 °C) является технологически возможной и не требует приобретения дополнительного оборудования, отдельных печных агрегатов или дополнительного расхода топлива.

Использование 15 % термоактивированных сланцев в производстве цемента способствует повышению производительности вращающейся печи на 15 %, так как снижается общий объем клинкера, который необходимо производить.

Прогнозные расчеты демонстрируют высокий уровень валовой рентабельности производства композиционного цемента, составляющий $\approx 18,9$ %. Данный показатель свидетельствует о высокой прибыльности проекта по сравнению со среднеотраслевыми значениями для капиталоемких производств.

Прогнозируемый план выхода на проектную мощность (достижение 100 % загрузки на 4-й год) демонстрирует стабильный и значительный рост общего дохода, подтверждая финансовую устойчивость и инвестиционную привлекательность разработанной технологии в долгосрочной перспективе.

Сокращение потребности в производстве клинкера на 15 % за счет замещения его термоактивированной добавкой приводит к прямому и пропорциональному снижению выбросов углекислого газа (CO_2), что обеспечивает соответствие предприятия современным экологическим требованиям.

Эффективное использование местного сырья и минимизация энергозатрат способствуют решению задачи устойчивого производства и снижению нагрузки на окружающую среду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных теоретических, экспериментальных и экономических исследований получены следующие основные результаты и выводы:

- методами комплексного термического анализа (ТГ/ДТА) и рентгенофазового анализа (РФА) научно обоснован оптимальный температурный режим термической активации глинистых сланцев (900 °С), обеспечивающий максимальную деструкцию слоистых силикатов и переход в высокоактивную аморфную фазу при минимальных энергозатратах.

- на основе полученных данных разработаны оптимальные рецептуры композиционных цементов (КЦ) с замещением 15 % клинкера термоактивированным глинистым сланцем, обеспечивающие синергетический эффект в прочностных характеристиках.

- предложена технологически возможная и безотходная методика термической активации сланцев путем их подачи в морозильную камеру вращающейся печи (800 – 900 °С), что исключает необходимость в дополнительном оборудовании и расходе топлива.

- установлено, что КЦ с 15 % АМД обладают повышенными прочностными характеристиками в поздние сроки твердения по сравнению с базовым портландцементом (за счет пуццолановой активности).

- разработанные КЦ демонстрируют сниженное тепловыделение при гидратации и повышенную коррозионную стойкость, что расширяет область их применения, в частности, в массивных и гидротехнических сооружениях.

- результаты работы внедрены в производство на цементных предприятиях Республики Казахстан, что подтверждается соответствующим АКТОм внедрения.

- экономическая оценка показала, что замещение 15 % клинкера АМД приводит к существенному снижению себестоимости 1 тонны цемента (с ≈23000 тенге до ≈19335 тенге).

Прогнозируемый уровень валовой рентабельности производства КЦ составляет ≈18,9 %, что подтверждает высокую коммерческую привлекательность разработанной технологии.

Сокращение потребности в производстве клинкера на 15 % обеспечивает прямое снижение выбросов углекислого газа, способствуя выполнению международных и национальных экологических обязательств Казахстана в области устойчивого производства.

Таким образом, в работе успешно разработана, обоснована и внедрена ресурсосберегающая технология, позволяющая получить высококачественный и конкурентоспособный композиционный цемент с существенным экономическим и экологическим эффектом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 B.Amiraliyev, B.Taimasov, E.Potapova, B.Sarsenbaev, M.Begentayev, M.Dauletiyarov, A.Kuandykova, A.Abdullin, N.Ainabekov, S.Auyesbek. The Use of Clay Shales as Active Mineral Additives for the Production of Composite Cements // doi:10.20944/preprints202504.1746.v1 https://www.preprints.org/frontend/manuscript/df57aa654e286bfdbcb32a06cf11725/download_pub
- 2 Экологический кодекс Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК. Нур-Султан. 2020 (с изм. и доп. на 12.12.2024 г.).
- 3 Постановление Правительства Республики Казахстан от 28 октября 2021 года № 775 «Об утверждении Правил разработки, применения, мониторинга и пересмотра справочников по наилучшим доступным техникам».
- 4 Постановление Правительства Республики Казахстан от 24 октября 2023 года № 941 «Об утверждении справочника по наилучшим доступным техникам "Производство цемента и извести».
- 5 Санатов А. Анализ состояния выбросов парниковых газов / А. Санатов, С. Естай, Т. Хакимжанов // Промышленность Казахстана. – 2010. – №5. – С. 49–51.
- 6 Приказ Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 11 июля 2022 года № 525 «Об утверждении национального плана углеродных квот».
- 7 Magistri M. Clinker savings using additives / M. Magistri, P. D'Arcangelo. // International Cement Review. – 2009. – №2. – Р. 102–106.
- 8 М.И. Санче де Рохас, А. Асенцио, М. Фриас, И. Куэвас, К. Медина Низкоклинкерные цементы, содержащие строительные отходы и лом как пуццолановую добавку // Цемент и его применение, 2020. №2. – С. 84-89.
- 9 Потапова Е.Н., Манушина А.С., Зырянов М.С., Урбанов А.В. Методы определения пуццолановой активности минеральных добавок // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2019. № 11-12 (250-251). С. 47-51.
- 10 Мечай А.А., Барановская Е.И., Попова М.В. Композиционный портландцемент с использованием минеральных добавок на основе природного сырья / Труды БГТУ, 2022, серия 2, №2. - С.100-106.
- 11 Таймасов Б.Т., Худякова Т.М., Жаникулов Н.Н. Комплексное использование природного и техногенного сырья в производстве малоэнергоемких цементов: монография. - Шымкент: Типография «Алем», 2017.- 200с.
- 12 Taimasov B.T. Development of energy and resource saving technologies for production of portlandcement with use of waste coal mining, lead slag and tefritobasalt / B.T. Taimasov, N.N. Zhanikulov, Zh.K. Dzhanmuldaeva, I.N. Borisov, M.E. Aiyazbekov. // V International scientific practical conference «Industrial Technologies and Engineering». – Shymkent. - 2018. - P.180-186.

13 B.Amiraliyev, B.Taimasov, E.Potapova, B.Sarsenbaev, M.Begentayev, M.Dauletiyarov, A.Kuandykova, A.Abdullin, N.Ainabekov, S.Auyesbek. The Use of Clay Shales as Active Mineral Additives for the Production of Composite Cements // The Use of Clay Shales as Active Mineral Additives for the Production of Composite Cements doi: 10.20944/preprints202504.1746.v1 https://www.preprints.org/frontend/manuscript/df57aa654e286bfdbcba32a06cf11725/download_pub

14 Страны G20 намерены прекратить выбросы парниковых газов к середине XX1 века. // Цемент и его применение. 31.10.2021.<https://www.vedomosti.ru/society/news/2021/10/31/893799-strani-g20>

15 HeidelbergCement запускает пилотный проект по улавливанию CO₂// Цемент и его применение. 17.09.2021.<https://jcement.ru/content/news/heidelbergcement-zapuskayet-pilotnyy-proekt-po-ulavlivaniyu-so2/>

16 В Узбекистане изучают влияние промышленных предприятий на экологию. // Цемент и его применение. 08.11.2023.<https://jcement.ru/content/news/v-uzbekistane-izuchayut-vliyanie-promyshlennykh-predpriyatiy-na-ekologiyu/>

17 <https://jcement.ru/content/news/heidelberg-materials-predstavila-evozero-pervyy-v-mire-tsement-s-nulevym-uglerodnym-sledom/> 1/1 28.11.2023.

18 Компания AggregateIndustries использует отходы производства керамических плит. ИсточникAggregateIndustries. Великобритания. 23.11.2023.<https://jcement.ru/content/news/kompaniya-aggregate-industries-ispolzuet-otkhody-proizvodstva-keramicheskikh-plit/>

19 Hegde S.B. Cement Industry Striving for Carbon Neutrality// Cement and its application. 2023. 1. Pp. 66-69. <https://en.jcement.ru/magazine/598/56349/>

20 GCCA Sustainability Guidelines for the monitoring and reporting of CO₂ emissions from cement manufacturing. October 2019. – URL: https://gccassociation.org/wp-content/uploads/2019/10/GCCA_Guidelines_CO2Emissions_v04_AMEND.pdf

21 CEMBUREAU. 2020. Activity Report. N° Editeur: D / 2021 / 5457 / May. – URL: <https://www.cembureau.eu/media/1sjf4sk4/cembureau-activity-report-2020.pdf>

22 <https://gccassociation.org/concretefuture/>

23 <https://gccassociation.org/concretefuture/getting-to-net-zero/>

24 On Approval of the Best Available Techniques Guide ‘Cement and Lime Production’ Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated 24 October 2023 No. 941. Astana.RK. 2021. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2300000941>

25 M. Fantini, M. Spinelli, F. Malli, M. Gatti, S. Consonni. CLEANKER project: CO₂ capture in the cement industry // Cement and its applications, 2020. №2. - p.78-80. <https://jcement.ru/magazine/vypusk-2-2020/proekt-cleanker-ulavlivanie-co-v-tsementnoy-promyshlennosti/>

26 Magistri M. The challenge of low clinker cements / M. Magistri, P.D'Arcangelo, D. Padovani // *ibausil.* – September 2023. <https://cadd.mapei.com/wp-content/uploads/2023/11/The-challenge-of-low-clinker-cements-Ibausil-September-2023.pdf>

27 Lochana Poudyal, Kushal Adhikari. Environmental sustainability in cement industry: An integrated approach for green and economical cement production// *Resources, Environ. Sustain.* 2021. Volume 4, June 2021, 100024. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2021.100024>

28 Environmental Code of the Republic of Kazakhstan dated 2 January 2021 No. 400-VI ZRC. Astana. 2020 (with amendments and additions as of 12.12.2024). <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K2100000400>

29 Ozerova E.M., Kaigorodov O.N. Waste utilisation in the Russian cement industry // *Cement and its application*, 2020. №4. - p.33-35. <https://jcement.ru/magazine/vypusk-4-2020/ispolzovanie-otkhodov-v-rossiyskoy-tsementnoy-promyshlennosti/>

30 Kuandykova A.Ye., B.T. Taimasov, E.N. Potapova, B.K. Sarsenbayev, M.S. Dauletiyarov, N.N. Zhanikulov, B.B. Amiraliyev, A.A. Abdullin «Production of portland cement clinker based on industrial waste» // *Journal of Composites Science* 2024, 8, 257. <https://doi.org/10.3390/jcs8070257>.

31 Gapparov J., Syrlybekkyzy S., Filin A., Kolesnikov A., Zhatkanbayev Y. Overview of techniques and methods of processing the waste of stale clinkers of zinc production. *MIAB Min. Informational Anal. Bull.* 2024. 4. p 44–55 https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_4_0_44

32 Zhanikulov N., Sapargaliyeva B., Agabekova A., Alfereva Y., Baidibekova A., Syrlybekkyzy S., Nurshakhanova L., Nurbayeva F., Sabyrbaeva G., Zhatkanbayev Y., Studies of Utilization of Technogenic Raw Materials in the Synthesis of Cement Clinker from It and Further Production of Portland Cement. June 2023. *Journal of Composites Science* 7 (6): 226. <https://doi.org/10.3390/jcs7060226>

33 Потапова Е.Н., Гусева Т.В., Толстых Т.О., Бубнов А.Г. Технологические, технические и организационно-управленческие решения для устойчивого развития и декарбонизации цементной отрасли // *Техника и технология силикатов.* eLIBRARYID: 54799480 EDN: UMLFEJ.

34 Мечай А.А., Барановская Е.И., Попова М.В. Композиционный портландцемент с применением минеральных добавок на основе природного сырья / *Известия БГТУ*, 2022, Серия 2, №2. - с.100-106. <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/50310/1/13.%20%D0%9C%D0%B5%D1%87%D0%B0%D0%B9.pdf>.

35 Yakubzhanova and N.Dj. Makhsudova., M.I. Iskandarova, A.I. Buriev, G.B. Begzhanova, D.D. Mukhitdinov. Z.B. // Technological foundations for solving the problem of metallurgy and TPP waste utilization for the development of "green" technology for the production of composite cements //1V International Scientific ash conference Construction Mechanics & Water Resources Engineering CONMECHYDRO 2022. dedicated to the 70th anniversary of the birth and

memory of professor Uktam Pardaeovich Umurzakov. August 23-24, 2022, Tashkent, Uzbekistan. Sub. 0191.
https://www.researchgate.net/publication/367538651_Technological_foundations_for_solving_problem_of_metallurgy_and_TPP_waste_utilization_for_development_of_Green_technology_for_composite_cements_production

36 Юлдашев Ф.Т. Улучшение экосистемы путем утилизации техногенных отходов, использования активной минеральной добавки «фосфозол» в производстве цемента. Белгород: Изд-во БГТУ . 2022. – 203 с. Улучшение экосистем пути утилизации техногенных отходов использование активной минеральной добавки «фосфозол» в производстве цементов.
https://api.scienceweb.uz/storage/publication_files/6563/17860/659ce53f3f895%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F%20%D0%A4%D0%9E%D0%A1%D0%A4%D0%9E%D0%97%D0%9E%D0%9B%20%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4.pdf.

37 Мухиддинов Д.Д. Композиционные портландцементы с применением гибридных добавок / Труды II-Респ. НИК «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных материалов». 2022. Ташкент. - С. 361-363. \ https://api.scienceweb.uz/storage/publication_files/4727/18086/659f9cf004cd413.pdf.

38 Атабаев Ф.Б., Фузайлова Ф.Н., Турсунова Г.Р., Ахмедова Д.У. Эффективные шлакокарбонатные портландцементы. // Журнал инноваций нового века. Том. 14 № 4. 2022. <https://newjournal.org/new/article/view/546>.

39 Черкасов В.Д. Активная минеральная добавка на основе химически модифицированного диатомита / В.Д. Черкасов, В.И. Бузулуков, А.И. Емельянов, Е.В. Киселев, Д.В. Черкасов // Известия вузов. Строительство. – 2011. – №12. – С. 50–55.

40 Konan K.L. Comparison of surface properties between kaolin and metakaolin concentrated lime solutions / K.L.Konan, C.Peyratout, A.Smith, J.P. Bonnet, et. al. // Journal of Colloid and Interface Science. – 2009. – Vol. 339, №1. – P. 103–109.

41 Sivkov S.P., Korchunov I.V., Potapova E.N., Dmitrieva E.A., Klimenko N.N. Activity Thermodynamics of Compounds in Carbonation-Hydration Hardening Cements// Glass and Ceramics. 2023. V. 79. № 9-10. P. 371-377. https://www.researchgate.net/publication/368965373_Activity_Thermodynamics_of_Compounds_in_Carbonation-Hydration_Hardening_Cements

42 Дмитриева Е.А., Потапова Е.Н. Влияние термообработанных глин на прочность портландцемента. Журнал Успехи в химии и химической технологии. 2019. <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-termoobrabotannyh-glin-na-prochnost-portlandtsementa>

43 Bashmakov I.A., Potapova E.N., Borisov K.B., Lebedev O.V., Guseva T.V. Cement Sector Decarbonization and Development of Environmental and

Energy Management Systems// Stroitel'nyeMaterialy. 2023. № 9. Pp. 4-12. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-817-9-4-12>

44 Potapova E.N., Guseva T.V., Tolstykh T.O., Bubnov A.G. Technological, technical, organizational and managerial solutions for the sustainable development and decarbonization of cement sector // Technique and technology of silicates. – 2023. Vol. 30, No2. – Pp. 104 – 115. https://tsilicates.com/2023_tts2

45 H.A. Rocha, R.D. Toledo Filho, N.G. Cayo-Chileno. Sustainable alternatives to CO₂ reduction in the cement industry: A short review// Materialstoday: Proceedings. Volume 57, Part 2, 2022, Pages 436-439. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.565>

46 Smolskaya E.A., Potapova E.N., Korshunov I.V., Sivkov S.P. Properties of geopolimer cement based on thermally activated clay// Cement and its application.2024. No. 1. pp. 50-54. <https://doi.org/10.61907/CIA.2024.82.52.001>

47 Ram K., Flegar M., Serdar, M., Scrivener K. Influence of Low- to Medium-Kaolinite Clay on the Durability of Limestone Calcined Clay Cement (LC3) Concrete.Materials 2023, 16, 374. <https://doi.org/10.3390/ma16010374>

48 Искандарова М.И., Атабаев Ф.Б., Турсунова Г.Р. Исследования местный мергелей как активных минеральных добавок для цемента. // «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных и высокотемпературных материалов» Международная НТК, посвященная 95-летию лаборатории Химии и химической технологии ИОНХ АН РУз и 70-летию д.х.н., проф. З.Р.Кадыровой. – Ташкент. – С. 239-240.

49 Искандарова М.И., Якубжанова З.Б., Бегжанова Г.Б. Исследования влияния гибридных добавок на генетическое развитие новообразований при твердении портландцемента. / «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных и высокотемпературных материалов» Международная НТК, посвященная 95-летию лаборатории Химии и химической технологии ИОНХ АН РУз и 70-летию д.х.н., проф. З.Р.Кадыровой. Ташкент. – С. 241-243.

50 Рустамов Ш.Ш., Шакаров Т.И., Мухамедбаев А.А. Термообработанная добавка к цементу // «Инновационные разработки и перспективы развития химической технологии силикатных и высокотемпературных материалов» Международная НТК, посвященная 95-летию лаборатории Химии и химической технологии ИОНХ АН РУз и 70-летию д.х.н., проф. З.Р.Кадыровой. – Ташкент. – С. 281-282.

51 Корнеев В.И. Перспективы развития общестроительных вяжущих веществ. Геополимеры и их отличительные особенности / В.И. Корнеев, А.С. Брыков // Цемент и его применение. – 2010. – №2. – С. 51–55.

52 Гайфуллин А.Р., Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р. Влияние добавок глинистых в портландцемент на прочность при сжатии цементного камня // Materials Magazine of Civil Engineering, №7, 2015.

53 Рахимов Р.З. Влияние добавки прокаленной и молотой полиминеральной глины на прочность цементного камня. Р.З. Рахимов, Н.Р.

Рахимова, А.Р. Гайфуллин // Цемент и его применение. – 2015. – №2. – С.141–144.

54 Taimasov B.T. Planning and setting up experiments in the technology of binding materials: textbook / B.T.Taimasov, A.A.Abdullin. - Almaty: ЭСПИ, 2021. - 190 p.

55 Таймасов Б.Т. Лабораторный практикум по планированию, постановке экспериментов в технологии вяжущих материалов: учебник / Б.Т. Таймасов, Т.А. Адырбаева. - Москва; Вологда: Инфра – Инженерия, 2024. - 192с.

56 Есимов Б.О. Определение метаморфических пород по внешним признакам: методические указания к лабораторным работам / Б.О. Есимов, Т.А. Адырбаева, Е.С. Дубинина, С.К. Алдабергенов. – Шымкент: ЮКГУ им. М. Ауэзова, 2007. –16 с.

57 ГОСТ 25094-2015 Добавки активные минеральные для цементов. Метод определения активности. Издательство Стандарт Информ: Москва, Россия.

58 ГОСТ 5382-2019 Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. Издательство Стандарт Информ: Москва, Россия.

59 Уэйли Ж. Деривативное электронное издание на основе печатного аналога: Растровая электронная микроскопия для нанотехнологий. Методы и применение / под. ред. Жу Уэйли, Ж. Л. Уанг; пер. с англ. С. А. Иванова, К. И. Домкина. под.ред. Т.П. Каминской. – 2–е издание (электронное). – Москва: Лаборатория знаний, 2014. – 582 с.

60 Кузнецова Г.А. Качественный рентгенофазовый анализ: методические указания. – Иркутск: ГОУ ВПО ИГУ, 2005. – 28 с.

61 Есимов Б.О. Интерпретация рентгенограмм: методическое указание для вузов / Б.О. Есимов, Т.А. Адырбаева, Е.С. Дубинина, А.А. Минулина, Ж.М. Айтулова. – Шымкент: ЮКГУ, 2012. – 28 с.

62 Есимов Б.О. Рентгенометрический определитель минералов В.И. Михеева: методическое указание для вузов / Б.О. Есимов, Т.А. Адырбаева, Б.Е. Жакипбаев. – Шымкент: ЮКГУ, 2012. – 164 с.

63 B.Amiraliyev, B.Taimasov, E.Potapova, B.Sarsenbaev, M.Begentayev, M.Dauletiyarov, A.Kuandykova, A.Abdullin, N.Ainabekov, S.Auyesbek. Heat treatment of clay shales and their utilization as active mineral additives for the production of composite cements Journal of Composites Science. Journal of Composites Science. 2025, 9. <https://doi.org/10.3390/jcs9060269>;

64 Болотских О.Н. Методы физико–химического анализа сырьевых материалов цементной промышленности: учебник для вузов / О.Н. Болотских. – Москва, 2008. – 275 с.

65 Амиралиев Б.Б., Куандыкова А.Е., Таймасов Б.Т., Даулетияров М.С., Калымбетов Г.Е. Исследование и определение активности минеральных добавок классическим методом термообработанных глинистых сланцев с

применением клинкеров полученных из отходов производств. Научный журнал «Механика и технологии». №2(88). Тараз, 2025г. С.165-180;

66 Беккер Ю. Спектроскопия. Spektroskopie: учебное пособие для вузов / Ю. Беккер; пер. с нем. Л.Н. Казанцевой, под. ред. А. А. Пупышева, М.В. Поляковой. – М.: Техносфера, 2009. – 528 с.

67 Тарасевич Б.Н. ИК – спектры основных классов органических соединений: справочник / Б.Н. Тарасевич. – Москва: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2012. – 55 с.

68 ГОСТ 310.1-81 Цементы. Методы определения. ИПК Издательство стандартов: Москва, Россия.

69 ГОСТ 310.3-81 Цементы. Методы испытаний. ИПК Издательство стандартов: Москва, Россия.

70 ГОСТ 12730.3-2020 Бетоны. Метод определения водопоглощения. М.: ИПК Издательство стандартов. Москва, Россия.

71 ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. Межгосударственный стандарт. М.: ИПК Издательство стандартов.

72. ГОСТ 310.4-81 Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. Межгосударственный стандарт. М.: ИПК Издательство стандартов.

73 Amiraliyev B., Tamasov B., Kuandykov A., Potapova E., Ainabekov N. Modern trends in the development of cement production. Научный журнал «Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева». Серия «Технические науки и технологии», №2 (151). Астана, 2025. С. 38-58.

74 ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные. Технические условия. Изд-во Стандартиформ. – Москва. 2020. – 28 с. Дата введения 01.03.2021.

75 НД СП, утв. Приказом МЗ за № ҚР ДСМ – 90 от 25.08.2022г.

76 M.I. Sanchede Rojas, A. Asencio, M. Frias, I. Cuevas, C. Medina Low clinker cement containing construction waste and scrap as pozzolanic additive // Cement and its application, 2020. №2.- p. 84-89.<https://jcement.ru/magazine/vypusk-2-2020/nizkoklinkernye-tsementy-soderzhashchie-stroitelnye-otkhody-i-lom-kak-putstsolanovuyu-dobavku/>

77 Abramson I.G. Problems and prospects of the sustainable development of the basic building materials industry / I.G. Abramson // Cement and its application. - 2007. №6. - p.123-128. <https://jcement.ru/magazine/vypusk-6-239/problemy-i-perspektivy-ustoychivogo-razvitiya-industrii-osnovnykh-stroitelnykh-materialov/>

78 Korchunov I., Dmitrieva E., Potapova E., Sivkov S., Morozov A. Frost Resistance of The Hardened Cement with Calcined Clays// Iranian Journal of Materials Science and Engineering. 2022. 19(4). P. 1-9. <https://doi.org/10.22068/ijmse.2768>

79 Antunes M., Santos R.L., Pereira J., Rocha P., Horta R.B., Colaço R. Alternative Clinker Technologies for Reducing Carbon Emissions in Cement Industry: A Critical Review. Materials 2022, 15, 209. <https://doi.org/10.3390/ma15010209>

80 Рахимов Р.З. Строительство и минеральные вяжущие прошлого, настоящего и будущего / Р.З. Рахимов, Н.Р. Рахимова // Строительные материалы. – 2013. – №1. – С. 124–128.

81 Scrivene K.L. Hydration of cementitious materials, present and future / K.L. Scrivener A. Nonat // Cement and Concrete Research. – 2011. – №. 41. – P. 651-665.

82 Лебедев М.С. Аспекты применения инфракрасной спектроскопии алюмосиликатных сырьевых компонентов в строительном материаловедении / М.С. Лебедев, И.В. Жерновский, Е.В. Фомина, И.Ю. Потапова // Технические науки – от теории к практике: сборник статей по материалам XXIV Международной заочной научно-практической конференции. – Новосибирск: изд-во «СибАК», 2013. – С. 94–105.

83 Чигаркина О. «Зеленая экономика» как приоритет развития Современного Казахстана / О. Чигаркина, Е. Богданова // Промышленность Казахстана. – 2015. – №3 (90). – С.34–37.

84 Рахимов Р.З. Состав и гидравлическая активность керамзитовой пыли / Р.З. Рахимов, М.И. Халиуллин, А.Р. Гайфуллин // Цемент и его применение. – 2013. – №1. – С. 124–128.

85 Rashab A.M. Metakaolin as cementitious material: History, scours, production and composition / AM. Rashab // Construction and Building Materials. – 2013. – №. 41. – P.303–318.

86 Badogiamic S. Metakaolin as supplementary cementitious material. Optimization of kaolin to metakaolin conversion / S. Badogiamic, G. Kakali, S. Tsvilis // J. Therm. Anal. Calorim. – 2005. – №2. – P. 457–462.

87 Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan dated 28 October 2021 No. 775 ‘On Approval of the Rules for Development, Application, Monitoring and Revision of Best Available Techniques Guides’. Astana. RK. 2021. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2100000775>

88 Черкасов В.Д. Структурообразование цементных композитов с добавкой модифицированного диатомита / В. Д. Черкасов, В. И. Бузулуков, А. И. Емельянов // Строительные материалы. – 2015. – №11. – С. 75–77.

89 Ключков Н.В. Высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия и рефлектометрия: методические указания к лабораторным работам по диагностике материалов / Н.В. Ключков. – Санкт-Петербург: ЦКП «Материаловедение и диагностика в передовых технологиях» при ФТИ им. А. Ф. Иоффе, 2010. – 18 с.

90 Кузнецова Т. В. Микроскопия материалов цементного производства / Т. В. Кузнецова, С. В. Самченко. – М.: МИКХиС, 2007. – 304 с.

91 Таймасов Б.Т. Исследование влияния обожженного глинистого сланца на процессы гидратаций и твердения цементов / Б.Т. Таймасов, А.Д. Бекмурзина // Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции: «Традиции и инновации в современной науке». – Москва, 30 ноября, 2016. – 116–125 с.

92 Poulsen S.L. Methodologies for measuring the degree of reaction in Portland cement blends with supplementary cementitious materials by Al and Si MAS NMR spectroscopy / S.L. Poulsen, H.J. Jakobsen, J.Skibsted // Proc. of the 17th IBAUSIL – Intern. Baustofftagung. – Weimar, Germany, 2009. – Vol. 1. – P. 177–188.

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

94 СНиП 12-02-2002 Безопасность труда в строительстве. Строительное производство, часть 2.

95 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

96 ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

97 ГОСТ 12.4.103-83 Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация.

98 ГОСТ 12.4.028-76 ССБТ. Респираторы ШБ-1 «Лепесток». Технические условия.

99 ГОСТ 6139-2003 Песок для испытаний цемента. Технические условия.

100 ГОСТ 24211-2003 Добавки для бетонов и строительных растворов.

101 ГОСТ 24640-91 Добавки для цементов. Классификация.

102 Ян Дан, У Цзудэ, Се Цзяньфэн, Таймасов Б.Т. и др. Новые технологии и тенденции развития цементного производства и оборудования: учебник. - Шымкент: Южно-Казахстанский университет им. М.Ауэзова, 2024. - 540с.

103 Таймасов Б.Т., Классен В.К. Химическая технология вяжущих материалов: учебник / - 2-е изд., доп. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2017. – 448с.

104 Классен В. К. Таймасов Б. Т. Цементология: структура, свойства цементов и оптимизация технологических процессов: учебник / В.К. Классен, Б.Т. Таймасов. - Москва; Вологда: Инфра – Инженерия, 2024. - 264с.
<https://www.litres.ru/book/b-t-taymasov/cementologiya-struktura-svoystva-cementov-i-optimizaciya-tehn-70883365/>

105 Определены товары с обязательным использованием вторсырья с 2025 года. // Цемент и его применение 03.09.2024.
<https://jcement.ru/content/news/opredeleny-tovary-s-obyazatelnyim-ispolzovaniem-vtorsyrya-s-2025-goda/>

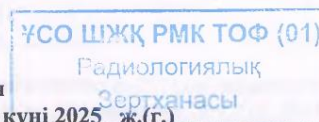
106 ГОСТ 310.2-81 Цементы. Методы испытаний. ИПК Издательство стандартов: Москва, Россия.

107 ГОСТ 12730.1-2020 Бетоны. Методы определения плотности. М.: ИПК Издательство стандартов. Москва, Россия.

ПРИЛОЖЕНИЕ А **Дозиметрический контроль образцов глинистого сланца**

Нысанның БҚСЖ бойынша коды Код формы по ОКУД _____ КҰЖЖ бойынша ұйым коды Код организации по ОКПО _____	
ҚР ДСМ СЭБК «Ұлттық сараптама орталығы» ШЖҚ РМК Түркістан облысы бойынша филиалының Шымкент қалалық бөлімшесі индекс: 160013, мекенжайы: Шымкент қ, Майдантал көшесі, 4 Тел: 43-30-66 email: turkestan – obl@nce.kz	Радиологическая лаборатория
Шымкентское городское отделение Филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» КСЭК МЗ РК по Туркестанской области индекс: 160013, адрес: г. Шымкент, ул. Майдантал, 4 Тел: 43-30-66 email: turkestan – obl@nce.kz	Қазақстан Республикасының Денсаулық сақтау министрінің 2021 жылғы «20» тамыздағы № ҚР ДСМ-84 бұйрығымен бекітілген № 052/е нысанды медициналық құжаттама Медицинская документация Форма № 052/у Утверждена приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от «20» августа 2021 года № ҚР ДСМ-84

Дозиметриялық бақылау
 ХАТТАМАСЫ
 ПРОТОКОЛ
 дозиметрического контроля
 № 50-пл-д-1 /PO-25-01773 «28» 05 күні 2025 ж. (г.)



1. Нысан атауы, мекенжайы (Наименование объекта, адрес) ч.л. Амиралиев Б.Б., г. Шымкент, мкр. Забадам, ул. Айкол, 42/2
2. Өлшеулер жүргізілетін орын (Место проведения замеров) радиологическая лаборатория
(бөлім, цех, квартал) (отдел, цех, квартал)
3. Өлшеулер мақсаты (Цель измерения) измерение МЭД гамма-излучения
4. Өлшеулер тексерілетін объект өкілінің қатысуымен жүргізілді (Измерения проводились в присутствии представителя обследуемого объекта) ч.л. Амиралиев Б.Б.
5. Өлшеу құралдары (Средства измерений) ДКС АТ 1123 №52912
атауы, түрі, инвентарлық нөмірі (наименование, тип, инвентарный номер)
6. Тексеру туралы мәліметтер (Сведения о поверке) ВА.17-24-1189438 от 20.09.2024ж.
берілген күні мен куәліктің нөмірі (дата и номер свидетельства)
7. Өлшеу шарттары туралы қосымша мәліметтер (Дополнительные сведения об условиях измерения)
МЭД естественного гамма-излучения на территории 0,12 мкЗв/ч

Өлшеу нәтижелері(Результаты измерений)

Тіркеу нөмірі Регистрационный номер	Өлшеу жүргізілген орын Место проведения измерений	Дозаның өлшенген қуаты (мкЗв/час, н/сек) Измеренная мощность дозы (мкЗв/час, н/сек)			Зерттеу әдістемесінің НҚ-ры НД на метод испытаний	Дозаның рұқсат етілетін қуаты (мкЗв/час, н/сек) Допустимая мощность дозы (мкЗв/час, н/сек)		
		Еденнен жоғары (топырақтан) На высоте от пола (грунта)						
		1,5м	1м	0,1м		1,5м	1м	0,1м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Представленная проба –образец глинистого сланца	----	----	0,13	СП, утв. приказом МЗ за № КР ДСМ-90 от 25.08.2022 г.	-----	-----	0,2+фон

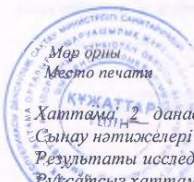
Үлгілердің (нің) НҚ-ға сәйкестігіне зерттеулер жүргізілді (Исследование проводилось на соответствие НД) СП, утв. приказом МЗ за № КР ДСМ-90 от 25.08.2022 г.

Зерттеу жүргізген маманның Т.А.Ә. (болған жағдайда), (Ф.И.О.(при наличии),специалиста
проводившего исследование) Туреханова М.А. Қолы Т.А.Ә.
(Подпись)

Зертхана меңгерушісінің қолы, Т.А.Ә. (болған жағдайда), (Ф.И.О.(при наличии), подпись заведующего
лабораторией) Накбаев Б.М. Қолы Б.М.
(Подпись)

Начальник отделения

А.Рүстем



Т.А.Ә (болған жағдайда), қолы)
Ф.И.О. (при наличии), подпись)

Хаттама 2 данада толтырылады (Протокол составляется в 2 экземплярах)

Сыңау нәтижелері тек қана сыналуға жататын үлгілерге қолданылады/

Результаты исследования распространяются только на образцы, подвергнутые испытанию.

Рұқсатсыз хаттаманы жартылай қайта басуға ТЫЙЫМ САЛЫНҒАН/ Частичная перепечатка
протокола без разрешения ЗАПРЕЩЕНА

Санитариялық дәрігердің немесе гигиенистің зерттелген өнімдердің, химиялық заттардың,
физикалық және радиациялық факторлардың үлгілері / сынамалары туралы қорытындысы
(Заключение санитарного врача или врача-гигиениста по образцам/пробам исследуемой продукции, химических
веществ, физических и радиационных факторов): _____

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Дозиметрический контроль образцов композиционного цемента

		Нысанның БҚСЖ бойынша коды Код формы по ОКУД _____
		ҚҰЖЖ бойыншауым коды Код организации по ОКПО _____
ҚР ДСМ СЭБК «Ұлттық сараптама орталығы» ШЖҚ РМК Түркістан облысы бойынша филиалының Шымкент қалалық бөлімшесі индекс:160013, мекенжайы: Шымкент қ, Майдантал көшесі,4 Тел: 43-30-66 email:turkestan – obl@nce.kz	Радиологическая лаборатория	Қазақстан Республикасының Денсаулық сақтау министрінің 2021 жылғы «20» тамыздағы № ҚР ДСМ-84 бұйрығымен бекітілген № 052/е нысанды медициналық құжаттама
Шымкентское городское отделение Филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» КСЭК МЗ РК по Туркестанской области индекс:160013, адрес: г.Шымкент, ул.Майдантал,4 Тел: 43-30-66 email: turkestan – obl@nce.kz		Медицинская документация Форма № 052/у Утверждена приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от «20» августа 2021 года № ҚР ДСМ-84

Дозиметриялық бақылау

ХАТТАМАСЫ

ПРОТОКОЛ

дозиметрического контроля

№ 50-пл-д /РО-25-01773 «28» 05 күні 2025 ж.(г.)

ҰСО ШЖҚ РМК ТОФ (01)
Радиологиялық
Зертханасы

1. Нысан атауы, мекенжайы (Наименование объекта, адрес) ч.л.Амиралиев Б. Б., г.Шымкент, мкр. Забадам, ул. Айкол, 42/2
2. Өлшеулер жүргізілетін орын (Место проведения замеров) радиологическая лаборатория
(бөлім, цех, квартал) (отдел, цех, квартал)
3. Өлшеулер мақсаты (Цель измерения) измерение МЭД гамма-излучения
4. Өлшеулер тексерілетін объект өкілінің қатысуымен жүргізілді (Измерения проводились в присутствии представителя обследуемого объекта) ч.л. Амиралиев Б. Б
5. Өлшеу құралдары (Средства измерений) ДКС АТ 1123 №52912
атауы, түрі, инвентарлық нөмірі (наименование, тип, инвентарный номер)
6. Тексеру туралы мәліметтер (Сведения о поверке) ВА.17-24-1189438 от 20.09.2024ж.
берілген күні мен куәліктің нөмірі (дата и номер свидетельства)
7. Өлшеу шарттары туралы қосымша мәліметтер (Дополнительные сведения об условиях измерения)
МЭД естественного гамма-излучения на территории 0.12 мкЗв/ч

Өлшеу нәтижелері(Результаты измерений)

Тіркеу нөмірі Регистрационный номер	Өлшеу жүргізілген орын Место проведения измерений	Дозаның өлшенген қуаты (мкЗв/час, н/сек) Измеренная мощность дозы (мкЗв/час, н/сек)			Зерттеу әдістемесінің НҚ-ры НД на метод испытаний	Дозаның рұқсат етілетін қуаты (мкЗв/час, н/сек) Допустимая мощность дозы (мкЗв/час, н/сек)		
		Еденнен жоғары (топырақтан) На высоте от пола (грунта)						
		1,5м	1м	0,1м		1,5м	1м	0,1м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Представленная проба –образец композиционного цемента	----	----	0,14	СП, утв. приказом МЗ за № ҚР ДСМ-90 от 25.08.2022 г.	-----	-----	0,2+фон

Үлгілердің (нің) НҚ-ға сәйкестігіне зерттеулер жүргізілді (Исследование проводилось на соответствие НД) СП, утв. приказом МЗ за № КР ДСМ-90 от 25.08.2022 г.

Зерттеу жүргізген маманның Т.А.Ә. (болған жағдайда), (Ф.И.О.(при наличии),специалиста проводившего исследование) Түрханова М.А. Қолы (Подпись)

Зертхана меңгерушісінің қолы, Т.А.Ә. (болған жағдайда), (Ф.И.О.(при наличии), подпись заведующего лабораторией) Накбаев Б.М. Қолы (Подпись)

Начальник отделения

А.Рүстем

Мөр орны
Место печати

Т.А.Ә (болған жағдайда), қолы)
Ф.И.О. (при наличии), подпись)

Хаттамасы 2 данада толтырылады (Протокол составляется в 2 экземплярах)

Сынау нәтижелері тек қана сыналуга жататын үлгілерге қолданылады/

Результаты исследования распространяются только на образцы, подвергнутые испытанию.

Рұқсатсыз хаттаманы жартылай қайта басуға ТЫЙЫМ САЛЫНҒАН/ Частичная перепечатка

протокола без разрешения ЗАПРЕЩЕНО

Санитариялық дәрігердің немесе гигиенистің зерттелген өнімдердің, химиялық заттардың,

физикалық және радиациялық факторлардың үлгілері / сынамалары туралы қорытындысы

(Заключение санитарного врача или врача-гигиениста по образцам/пробам исследуемой продукции, химических веществ, физических и радиационных факторов):

ПРИЛОЖЕНИЕ В **Дозиметрический контроль образцов балочек из композиционного цемента**

КР ДСМ СЭБК «Ұлттық сараптама орталығы» ШЖҚ РМК Түркістан облысы бойынша филиалының Шымкент қалалық бөлімшесі индекс:160013, мекенжайы: Шымкент қ, Майдантал көшесі,4 Тел: 43-30-66 email:turkestan – obl@nce.kz		Нысанның БҚСЖ бойынша коды Код формы по ОКУД _____ КҰЖЖ бойынша ұйым коды Код организации по ОКПО _____
Шымкентское городское отделение Филиала РГП на ПХВ «Национальный центр экспертизы» КСЭК МЗ РК по Туркестанской области индекс:160013,адрес: г.Шымкент, ул.Майдантал,4 Тел: 43-30-66 email: turkestan – obl@nce.kz	Радиологическая лаборатория	Қазақстан Республикасының Денсаулық сақтау министрінің 2021 жылғы «20» тамыздағы № ҚР ДСМ-84 бұйрығымен бекітілген № 052/е нысанды медициналық құжаттама Медицинская документация Форма № 052/у Утверждена приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от «20» августа 2021 года № ҚР ДСМ-84

ҰСО ШЖҚ РМК ТСОФ (01)
 Радиологиялық
 Зертханасы

Дозиметриялық бақылау
ХАТТАМАСЫ
ПРОТОКОЛ
 дозиметрического контроля
 № 53-пл-д /РО-25-01871 «04 » 06 күні 2025 ж.(г.)

1. Нысан атауы, мекенжайы (Наименование объекта, адрес) ч.л.Амиралиев Б.Б., г.Шымкент, мкр. Забадам, ул. Айкол, 42/2
2. Өлшеулер жүргізілетін орын (Место проведения замеров) радиологическая лаборатория
(бөлім, цех, квартал) (отдел, цех, квартал)
3. Өлшеулер мақсаты (Цель измерения) измерение МЭД гамма-излучения
4. Өлшеулер тексерілетін объект өкілінің қатысуымен жүргізілді (Измерения проводились в присутствии представителя обследуемого объекта) ч.л. Амиралиев Б.Б.
5. Өлшеу құралдары (Средства измерений) ДКС АТ 1123 №52912
атауы, түрі, инвентарлық нөмірі (наименование, тип, инвентарный номер)
6. Тексеру туралы мәліметтер (Сведения о поверке) ВА.17-24-1189438 от 20.09.2024ж.
берілген күні мен куәліктің нөмірі (дата и номер свидетельства)
7. Өлшеу шарттары туралы қосымша мәліметтер (Дополнительные сведения об условиях измерения) МЭД естественного гамма-излучения на территории 0.12 мкЗв/ч

Өлшеу нәтижелері (Результаты измерений)

Тіркеу нөмірі Регистрационный номер	Өлшеу жүргізілген орын Место проведения измерений	Дозаның өлшенген қуаты (мкЗв/час, н/сек) Измеренная мощность дозы (мкЗв/час, н/сек)			Зерттеу әдістемесінің НҚ-ры НД на метод испытаний	Дозаның рұқсат етілетін қуаты (мкЗв/час, н/сек) Допустимая мощность дозы (мкЗв/час, н/сек)		
		Еденнен жоғары (топырақтан) На высоте от пола (грунта)						
		1,5м	1м	0,1м			1,5м	1м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Представленная проба –образец балочек из композиционного цемента 4×4×16	----	----	0,15	СП, утв. приказом МЗ за № ҚР ДСМ-90 от 25.08.2022 г.	-----	-----	0,2+фон

Үлгілердің (нің) НҚ-ға сәйкестігіне зерттеулер жүргізілді (Исследование проводилось на соответствие НД) СП, утв. приказом МЗ за № ҚР ДСМ-90 от 25.08.2022 г.

Зерттеу жүргізген маманның Т.А.Ә. (болған жағдайда), (Ф.И.О. (при наличии), специалиста проводившего исследование) Туреханова М.А. Қолы _____

(Подпись)

Зертхана меңгерушісінің қолы, Т.А.Ә. (болған жағдайда), (Ф.И.О. (при наличии), подпись заведующего лабораторией) Накбаев Б.М. Қолы _____

(Подпись)

Начальник отделения

А.Рүстем

Мөр орны
Место печати

Т.А.Ә (болған жағдайда), қолы
Ф.И.О. (при наличии), подпись

Хаттама 2 данада толтырылады (Протокол составляется в 2 экземплярах)

Сынау нәтижелері тек қана сыналуға жататын үлгілерге қолданылады/

Результаты исследования распространяются только на образцы, подвергнутые испытаниям.

Рұқсатсыз хаттаманы жартылай қайта басуға ТЫЙЫМ САЛЫНҒАН/ Частичная перепечатка протокола без разрешения ЗАПРЕЩЕНА

Санитариялық дәрігердің немесе гигиенистің зерттелген өнімдердің, химиялық заттардың,

физикалық және радиациялық факторлардың үлгілері / сынамалары туралы қорытындысы

(Заключение санитарного врача или врача-гигиениста по образцам/пробам исследуемой продукции, химических веществ, физических и радиационных факторов):

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
Технологический регламент на производство композиционных и специальных цементав ТОО «NE Innovation Technology»

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

НАО КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ К.И.САТПАЕВА

ТОВАРИЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«NE INNOVATION TECHNOLOGY»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ТОО «NE
Innovation Technology»
М. Мирхамидов
19.09.2025 г.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
НА ПРОИЗВОДСТВО КОМПОЗИЦИОННЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ
ЦЕМЕНТОВ

Тараз, 2025

РАЗРАБОТЧИКИ:

д.т.н., профессор зав. НИЛ «СМ, С и А»,

д.т.н., профессор кафедры «ТС и М»

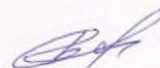
СНС НИЛ «СМ, С и А», к.т.н., доцент

ВНС НИЛ «СМ, С и А», PhD

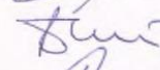
докторант кафедры «ТС и М»

докторант кафедры «ТС и М»

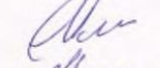
докторант кафедры «ТС и М»



Б.К. Сарсенбаев



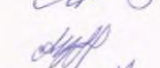
Б.Т.Таймасов



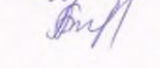
М.С.Даулетияров



Н.Б. Сарсенбаев



Б.Б.Амиралиев



А. Куандыкова



А. Абдулин

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.1 Требования к сырьевым материалам.....	3
1.2 Применяемые материалы.....	6
1.3 Технологический процесс производства малоклинкерных тонкомолотых цементов и бетонов на их основе.....	10
1.4 Правила приемки, маркировки и паспортизации.....	14
1.5 Хранение и транспортирование.....	15
1.6 Технический контроль.....	15
1.7 Правила техники безопасности.....	16
1.8 Требования охраны окружающей среды	17
Приложение 1.....	19

ВВЕДЕНИЕ

Технологический регламент является временной картой технологического процесса производства композиционных и специальных цементов (КиСЦ) и представляет собой временный конструктивно-нормативный документ, составленный для изготовления изделий и конструкций из бетонов на основе обожженных глинистых сланцев месторождения Мынарал применительно к конкретным условиям производства завода силикатных изделий и железобетонных конструкций (ЗСИ и ЖБК).

В настоящем регламенте приведены данные о применяемых материалах, особенности технологии производства конструкций из бетона на основе композиционных и специальных цементов (КиСЦ), последовательность технологических операций, составы бетонной смеси из бетона на основе композиционных и специальных цементов (КиСЦ) проектных марок, оптимальные технологические параметры, обеспечивающие качество изделий и конструкций, соответствующее требованиям нормативных документов.

При разработке технологического регламента использованы результаты исследований и опытно-промышленного изготовления железобетонных конструкций на основе обожженных глинистых сланцев месторождения Мынарал с применением местных заполнителей. Кроме того, при составлении регламента был учтен опыт производства аналогичных конструкций из бетонов с применением композиционных цементов на основе активных минеральных добавок.

Особенности технологии производства бетонов на основе и конструкций, оптимальные составы КиСЦ и режимы термообработки КиСЦ с учетом особенностей химического и минералогического составов материалов нашли отражение в требованиях настоящего Регламента.

Технологические параметры, последовательность операций и проектные составы бетонных смесей могут быть изменены в процессе производства КиСЦ лабораторией ЗСИ и ЖБК после согласования НИЛ «СМСиА» ЮКУ им. М. Ауэзова и утверждения директором ТОО «NE INNOVATION TECHNOLOGY».

1.1 Требования к сырьевым материалам

Композиционные и специальные цементы, представляющие собой вяжущее гидравлического твердения, получаемое совместным помолом клинкера, природного гипса и обожженных глинистых сланцев месторождения Мынарал (ГлСмМ) общественного назначения.

Для приготовления композиционных и специальных цементов используют клинкера, природного гипса и ГлСмМ, высушенный до остаточной влажности не более 1% и измельченный до удельной поверхности $3800 \pm 100 \text{ см}^2/\text{г}$.

Совместный помол клинкера, природного гипса и ГлСмМ может осуществляться централизованно – на специализированных заводах, так и непосредственно на ЗСИ и ЖБК.

При измельчении КиСЦ на ЗСИ и ЖБК в мельницах, включенных в непрерывную технологическую линию производства железобетонных конструкций из бетонов на основе КиСЦ, допускается остаточная влажность шлака 2,0% по массе, а удельная поверхность выше $3800 \text{ см}^2/\text{г}$. Для повышения активности вяжущего (М 400-600) и для интенсификации процессов их твердения тонкость помола может быть увеличена до $4000 \text{ см}^2/\text{г}$.

Каждая партия КиСЦ должна сопровождаться паспортом, в котором указывается наименование завода-изготовителя, дата измельчения КиСЦ, масса партии, химический состав КиСЦ, удельная поверхность КиСЦ.

Транспортирование и хранение КиСЦ должно производиться по ГОСТ 30515-013, при этом необходимо исключить его увлажнение, а также попадание в него гипса, извести, цемента.

Специальные емкости для хранения КиСЦ должны обеспечивать его пневмоподачу в бетоносмесительное отделение.

Срок хранения КиСЦ зависит от остаточной влажности, условий хранения и удельной поверхности.

При хранении КиСЦ сверх указанных сроков или при нарушении требований ГОСТ 30515-013 к правилам хранения, необходимо проводить контрольные испытания малоклинкерного тонкомолотого цемента. При неудовлетворительных результатах контрольных испытаний (снижение активности цемента на 20-30%) рекомендуется повторное измельчение малоклинкерного тонкомолотого цемента до первоначальной удельной поверхности или использование его в качестве компонента вяжущего для низкомарочных бетонов.

Производства аналогичных вяжущих (одностадийных) нигде не встречается, поэтому можно утверждать, что данная разработка на сегодняшний день является ноу-хау.

При изготовлении вяжущего в две стадии характеристики КиСЦ могут различаться для каждой отдельно приготовленной партии, что связано с неоднородностью составов сырья.

При одностадийном производстве этот негатив исключается, т.к. характеристики сырьевых компонентов усредняются в процессе гомогенизации и в результате, получается продукт с однородными характеристиками в каждой партии.

Для приготовления бетонной смеси из КиСЦ для формирования железобетонных изделий и конструкций используются крупные и мелкие заполнители. Применение заполнителей, содержащих зерна гипса, не допускаются.

В качестве крупного заполнителя тяжелых бетонов на основе КиСЦ следует использовать щебень, гравий и песчано-гравийные смеси, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 8257-82, ГОСТ 10260-82, ГОСТ 8268-82.

При соответствующем технико-экономическом обосновании допускается применять в качестве заполнителей промышленные отходы, в частности, отсева дробления камня на щебень, отходы пиления известняка-ракушечника, мраморную крошку и др.

В качестве мелкого заполнителя можно применять пески природные и искусственные, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 10258-80, ГОСТ 8736-77.

Арматурные изделия и сварные закладные детали для железобетонных конструкций из бетонов на основе КиСЦ должны удовлетворять требованиям ГОСТ 10922-75.

1.2 Применяемые материалы

Характеристика компонентов КиСЦ

- клинкер.
- обожженных глинистых сланцев месторождения Мынарал;
- природный гипс.

По химическому составу клинкер является основным.

Таблица 1 – Усредненные химические составы используемых материалов

Наименование	Химический состав, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃
Клинкер	18,55	3,28	55,08	3,05	0,42	1,27	1,51	
Глинистый сланец	70,41	10,38	5,38	10,64	1,6	0,75	0,75	
Гипсовый камень	0,72	0,35	34,17	0,43	0,21	0,13	0,87	42,06

КиСЦ на основе обожженных глинистых сланцев месторождения Мынарал

Таблица 1.1-Минералогический состав клинкера

Вид клинкера	Содержание минералов, %			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Клинкер (ТОО «Стандартцемент»)	63,0	16,0	4,7	14,0

Таблица 2 - Результаты физико-механических испытаний портландцемента с обожженным глинистым сланцем месторождения Мынарал, обожженного при 900 °С

№	Состав цемента СЕМ II/A-Сл, %			Оста- ток на сите №008, %	Удельная поверх- ность цемента, см ² /г	Нор- маль- ная густота , %	Начало схватыва- ния, мин	Равномер- ность изменения объема, мм	В/Ц	Прочность при изгибе, МПа			Прочность при сжатии, МПа		
	Клин- кер	Обож- женный сланец	Гипсо- вый ка- мень							2 сут	7 сут	28 сут	2 сут	7 сут	28 сут
1	90	5	5	9,6	3750	27	185	6	0,3	3,1	3,5	4,3	18	34	48
2	85	10	5	9,4	3800	28	190	6	0,4	3,2	3,6	4,4	19	37	50
3	80	15	5	9,3	3850	28	195	6	0,5	3,2	3,7	4,6	20	39	51
4	75	20	5	9,1	3900	27	200	7	0,5	2,6	2,9	3,4	16	27	33
5	70	25	5	9,2	3950	27	205	7	0,5	2,5	2,7	3,1	12	21	29

Таблица 1.5-Сравнительные результаты оценки активности по прочности ЦЕМ II/A-К(Ш-И) 42,5Н и КиСЦ

Наименование показателей	ЦЕМ II/A-К(Ш-И) 42,5Н	КиСЦ	
		с ГлСмМ*	с ГлСмМ**
Удельная поверхность вяжущего, см ² /г	3200	3800	3850
Время совместного измельчения, мин	-	20	20
Энергозатраты, Вт*ч/кг	-	330	330
Содержание ГлСмМ, (% от вяжущего)		*	**
Насыпная плотность вяжущего, кг/м ³	1100	983	958
Нормальная густота (НГ), %	27,0	27,5	28,0
Сроки схватывания, мин - начало	185	190	195
Водоцементное отношение (В/Ц)	0,35	0,4	0,5
Расплыв конуса (ГОСТ 310.4), мм	110	114	118
Активность вяжущего в возрасте 2 суток нормального твердения, МПа:			
- при изгибе	3,1	3,2	3,2
- при сжатии	19,0	19,0	19,4
Активность вяжущего в возрасте 7 суток нормального твердения, МПа:			
- при изгибе	4,5	4,6	4,7
- при сжатии	34,9	35,4	35,0
Активность вяжущего в возрасте 28 суток нормального твердения, МПа:			
- при изгибе	5,5	5,7	5,8
- при сжатии	45,7	46,0	46,5
Марка вяжущего по прочности	400	400	400
* - 10% ГлСмМ вводили при совместном помоле компонентов, ** - 15% ГлСмМ вводили при совместном помоле компонентов			

Заполнители: Мелкий заполнитель – для приготовления тяжелых бетонов или в качестве высевки фракции 0,315-1,25 мм при оценке активности вяжущих материалов использовали кварцевый песок Бадамского месторождения.

Таблица 1.6-Физико-механические свойства заполнителя мелкого

Наименование характеристики	Един. изм.	Значение харак-ки
Насыпная плотность	кг/м ³	1500...1600
Истинная плотность	кг/м ³	2600...2700
Модуль крупности	-	2,6...2,8
Содержание пылевидных, глинистых частиц	%	3
Пустотность	%	38...45
Водопоглощаемость	%	6...8
Максимальная крупность зерна	мм	5
Содержание фракций (Ф):	%	
5 ≥ Φ ≥ 2,5		16
2,5 ≥ Φ ≥ 1,25		20
1,25 ≥ Φ ≥ 0,63		21
0,63 ≥ Φ ≥ 0,315		24
0,315 ≥ Φ ≥ 0,14		15
0,14 ≥ Φ ≥ 0,063		4
Естественная влажность	%	6

Крупный заполнитель - для приготовления тяжелых бетонов использовали гравий фракции 5-20 мм, поставляемый из Бадамского карьера.

Вода - для приготовления бетонных и растворных смесей в работе использовали водопроводную питьевую воду, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 23732 .

1.3 Технологический процесс производства КиСЦ и бетонов на их основе

Особенности технологии производства

Технологический процесс изготовления железобетонных конструкций из бетонов на основе КиСЦ аналогичен производству конструкций на цементных бетонах, с той лишь разницей, что вместо цемента используется КиСЦ.

В случае отсутствия централизованной поставки КиСЦ линию помола можно включить в общий технологический процесс производства КиСЦ (КиСЦ).

Подготовка технологической линии по производству КиСЦ.

При переводе технологической линии завода СИ и ЖБК на производство бетонов на основе КиСЦ необходимо тщательно очистить все техническое оборудование от извести, цемента и остатков бетона.

Емкости силосного склада хранения КиСЦ также должны быть очищены от остатков цемента.

Подбор составов бетонов на основе КиСЦ.

Подбор составов бетонов производился заводской лабораторией. Оптимальный состав бетонов на основе КиСЦ должен обеспечить получение проектной марки по прочности, морозостойкости.

При получении стабильных прочностных характеристик бетонов на основе КиСЦ лабораторией разрабатываются производственно технические нормы расхода КиСЦ в зависимости от марки бетонов на основе КиСЦ (КиСЦ), его отпускной прочности бетонной смеси, коэффициента армирования конструкций.

Приготовление бетонной смеси из бетонов на основе КиСЦ.

Для приготовления бетонных смесей из бетонов на КиСЦ с использованием крупного заполнителя применяются традиционные смесители гравитационного действия.

Дозирование КиСЦ и заполнителей при приготовлении бетонной смеси осуществляется весовыми дозаторами, воды – объемными.

При изменении влажности заполнителей дозировка воды раствора меняется с одновременной корректировкой влажности заполнителей для получения бетонной смеси из бетонов на основе КиСЦ заданной консистенции.

Ориентировочные расходы затворителя для достижения требуемой консистенции смеси приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7- Ориентировочные расходы затворителя для достижения требуемой консистенции смеси

Требуемая консистенция		Расход воды, л/м ³		
Подвижность, см	Жесткость, с	средняя крупность заполнителя, мм		
		1,2-54	5-10	10-20
-	60-80	200	180	165
-	30-50	205	185	170
1-3	-	220	200	180
5-7	-	230	210	195
7-9	-	240	220	205

Загрузка бетонной смеси осуществляется в следующей последовательности: крупный заполнитель, КиСЦ, вода. Общая продолжительность перемешивания должна быть не менее 3-4 минут.

Суперпластификатор оказывает пластифицирующий эффект на КиСЦ, поэтому бетонные смеси отличаются пониженной водопотребностью и повышенной тексотропностью.

При одинаковой жесткости (подвижности) бетонные смеси из бетонов на основе КиСЦ обладают лучшей удобоукладываемостью, чем цементные, поэтому в период освоения их производства на реке 1 раза в смену контролируется консистенция бетонной смеси с целью своевременной корректировки расхода воды.

Составы бетонной смеси из бетонов на основе КиСЦ для приготовления ж/б конструкций приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8- Составы бетонной смеси из бетонов на основе КиСЦ

Наименование продукции	Марка бетона	Жестк., сек	Фракция щебня	Расход материалов на 1м ³				
				КиСЦ	щебень, кг	песок, кг	Вода ρ=1,15 л	В/Ц или вода
Блоки УДБ	200	10-25	5-10	400	1280	520	140	0,35
Трубы РКТ	300	30-520	5-10	450	1300	450	140	0,31
Трубы РКТ-5		30-50	5-10	500	1300	400	155	
Фундаментные блоки стен подвалов СП	150	5-15	5-10	360	1370	480	150	0,4

Приготовленная бетонная смесь из КиСЦ выгружается в расходный бункер и доставляется на пост формирования конструкций транспортными средствами, принятыми на заводе.

Формование изделий и конструкций

Для формования изделий из бетонов на основе КиСЦ применяются те же формы (опалубка), что и для цементных бетонов. Подготовка форм (очистка, обмазка), установка арматуры и закладных деталей, укладка бетонной смеси, ее уплотнение и офактуривание поверхности изделий осуществляется традиционными методами, принятыми на заводе.

Для смазки форм применяются смеси отработанных масел или солярного масла с автолом, солидолом или петролатумом.

Рекомендуемые составы смазки для форм:

I. 70% солидола и 30% парафина;

II. 70% автола и 30% технического вазелина;

III. 75% керосина и 25% петролатума.

Технологическая схема производства блоков УДБ, фундаментных блоков СП и безнапорных труб Ø1200 – агрегатно-поточная.

Бетонные блоки стен подвалов изготавливаются неармированными, агрегатно-поточным способом, с уплотнением бетонной смеси (о.к.=3-4) на виброплощадке; твердение изделий – в опалубке, в условиях термовлажностной обработки в ямных пропарочных камерах.

Блоки УДБ армируются стальной арматурой класса А-III, Ø12мм, изготавливаются в стационарных фермах со съемными вкладышами; по агрегатно-поточной технологии; термовлажностная обработка – пропарка в ямных камерах.

Трубы безнапорные Ø1200мм. Изготавливаются в вертикальных формах $h=3,5$ м из жесткой бетонной смеси ($J=10с$) с эффективным виброуплотнением и немедленной распалубкой. Армирование спиральное, сталь класса А-I, Ø8-10мм. Термообработка – в ямных пропарочных камерах.

При виброуплотнении жестких бетонных смесей из бетонов на основе малоклинкерных тонкомолотых цементов целесообразно применять пригруз $20-60г/см^2$ или виброударную технологию.

Длительность уплотнения устанавливается опытным путем с учетом достижения коэффициента уплотнения бетонной смесью из бетонов на основе малоклинкерных тонкомолотых цементов в форме не менее 0,98. Время вибрирования зависит от консистенции смеси и динамических параметров вибрации и должно превышать показатель жесткости смеси на 1 мин.

Не допускается смешивания бетонных смесей из бетонов на основе КиСЦ со смесями на других видах вяжущих.

В процессе формирования не допускается добетонирования изделий и конструкций бетонными смесями из бетонов на основе КиСЦ или растворами на других видах вяжущих.

Термообработка изделий и конструкций из бетонов на основе КиСЦ.

Твердение изделий и конструкций (блоки УДБ, СП, трубы) из бетонов на основе КиСЦ с использованием фосфорного и доменного шлака и отходов дробления известняка карьеров осуществляется в естественных условиях или тепловлажностной обработки в пропарочных камерах.

Загрузку изделий в пропарочные камеры следует производить пактом с зазором между формами в горизонтальном направлении не более 10см. избежание разрыхления и разрыва поверхности изделий конденсатом, их необходимо укрывать матами из толи, пергамина или других материалов.

Перед тепловлажностной обработкой отформованные изделия подвергают предварительной выдержке в течение 3-4-х часов при $t^0=20\pm 2^{\circ}C$.

Скорость подъема температуры в пропарочной камере до параметра изотермического прогрева $90-95^{\circ}C$ следует назначать не более $20^{\circ}C/ч$ во избежание деструктивных явлений. Продолжительность изотермического прогрева определяется необходимостью получения максимальной прочности бетонов при минимальных затратах

энергетических ресурсов и устанавливается экспериментально применительно к конкретным условиям производства.

Скорость снижения температуры в пропарочной камере не должна превышать 25°С/ч.

Оптимальным по энергоемкости режимом термовлажностной обработки бетонов на основе КиСЦ на фосфорных и доменных шлаках и отходов дробления известняка карьеров, позволяющим получить максимальные прочностные характеристики и исключая возникновение деструктивных процессов, является следующим: 4+6+3ч при температуре изотермического прогрева 90±5°С.

Общая продолжительность тепловлажностной обработки должна обеспечивать получение прочности после пропаривания 90±5% марочной, а к 28 суткам после термообработки – проектной прочности.

1.4 Правила приемки, маркировки и паспортизации

После тепловлажностной обработки изделия и конструкции расформовываются, подвергаются приемочному контролю ОТК, маркируются и поступают на склад готовой продукции.

В зимний период расформованные конструкции вывозят из цеха только после их остывания до температуры, не превышающей температуру наружного воздуха более чем на 10°С.

ОТК осуществляет приемный контроль изделий и конструкций из бетонов на основе КиСЦ в соответствии с требованиями ГОСТ 13015-2012 «Конструкции и изделия бетонные и ж/б сборные. Общие технические требования» и в соответствии с рабочими чертежами на блоки УДБ, СП и трубы безнапорные.

Приемка конструкций и изделий из бетонов на основе КиСЦ осуществляются по правилам ГОСТ 13015-2012.

Маркировка – в соответствии с правилами маркировки ГОСТ 13015-2012 с дополнением в маркировочной надписи – индекса «КиСЦ».

Каждая партия изделий и конструкций должна сопровождаться паспортом по установленной форме, в котором указывается, что изделие изготовлено из бетонов на основе КиСЦ.

1.5 Хранение и транспортирование

Складирование конструкций, их хранение и транспортирование осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 13015-2012 «Изделия железобетонные и бетонные для строительства. Правила транспортирования и хранения».

1.6 Технический контроль

Постоянно действующий производственный контроль за качеством должен охватывать все операции технологического процесса от приемки исходных материалов до контроля качества готовой продукции.

При изготовлении железобетонных конструкций из бетонов на основе КиСЦ заводской лабораторией контролируются следующие параметры:

- соответствие материалов для приготовления бетонной смеси из бетонов на основе КиСЦ нормативным документам с учетом требований I настоящего Регламента;
- соответствие фактического состава бетонной смеси проектному;
- тонкость помола (прибором ПСХ-12);
- активность КиСЦ по ГОСТ 310.4-81;
- точность дозирования компонентов;
- консистенция бетонной смеси в зависимости от способов ее уплотнения;
- качество очистки и смазки форм;
- соответствие установки арматурных элементов рабочим чертежам изготавливаемых конструкций;
- параметры виброуплотнения бетонной смеси;
- режим тепловлажностной обработки и условия твердения.

Контроль фактической влажности заполнителей производится ежесуточно для своевременной корректировки рабочей концентрации.

Прочность бетона в изделиях и конструкциях контролируется заводской лабораторией путем испытания контрольных образцов, изготовленных одновременно с формированием конструкций, твердевших по тому же режиму. Для каждой партии изделий в соответствии с ГОСТ 18105-80 «Бетоны. Правила контроля прочности.» изготавливают 2 серии по 3 образца в каждой. Одну серию испытывают через 4 часа после термообработки – определяют отпускную прочность; вторую серию образцов испытывают через 28 суток хранения в нормальных условиях для контроля марочной прочности бетона.

После освоения производства железобетонных конструкций из бетонов на основе КиСЦ контроль прочности бетона можно осуществлять ультразвуковым импульсным методом по ГОСТ 17524-78 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности» при помощи современной ультразвуковой аппаратуры, а также методом пластической деформации по ГОСТ 10180-2012 «Бетоны тяжелые. Метод определения прочности эталонным молотком Кашкарова».

Для контроля толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры рекомендуется магнитный метод по ГОСТ 22904-73.

Внешний вид изделий и конструкций, качество поверхностей, соответствие положения закладных деталей рабочим чертежам и другие параметры контролируются отделом технического контроля в соответствии с требованиями ГОСТ 13015-2012.

1.7 Правила техники безопасности

Общие требования по технике безопасности при производстве МКТМЦ изложены в «Правилах техники безопасности и производственной санитарии в промышленности строительных материалов», СНиП 12-02-2002 «Безопасность труда в строительстве» и СНиП 31-03-2001 «Производственные здания».

По степени воздействия на организм человека КиСЦ относится к 4 классу опасности в соответствии с классификацией по ГОСТ 12.1.007-76.

КиСЦ пожаро- и взрывобезопасен. МКТМЦ относится к категории Д по пожарной опасности по ОНТП 10-99.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов не должна превышать 370 Бк/кг. Предельно допустимая концентрация пыли в воздухе 6,0 мг/м³ (по цементу).

Помольные и сушильные отделения приготовления смеси должны быть обеспечены эффективной аспирацией. Другие производственные помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией.

К работе с КиСЦ допускаются лица не моложе 18 лет и прошедшие инструктаж по технике безопасности и медицинское освидетельствование.

Для защиты органов дыхания необходимо применять респиратор ШБ-1 типа «Лепесток» по ГОСТ 12.4.028, марлевые повязки и другие противопылевые респираторы. Для защиты кожных покровов необходимо использовать специальную одежду и средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011 и ГОСТ 12.4.103.

1.8 Требования охраны окружающей среды

При производстве КиСЦ необходимо предусматривать удаление вредных веществ из мест их образования через аспирационные и вентиляционные системы.

Для обеспечения защиты атмосферного воздуха от загрязнений промышленными выбросами аспирационные системы должны быть оснащены пылеулавливающим оборудованием, отвечающим современным требованиям (группа циклонов и рукавных фильтров с эффективностью очистки до 98%).

По ходу приготовления КиСЦ формируются отходы производства, которые собираются на площадке приготовления и помещаются в тару. Отходы третьего класса

помещают в бумажные мешки, четвертого класса собираются на промышленной площадке в виде конусообразного навала, откуда автопогрузчиком перегружаются в герметичный самосвальный автотранспорт и доставляются на полигон захоронения. Во избежание пыления сверху отходы плотно закрываются полиэтиленовой пленкой. Транспортировка промышленных отходов на полигон производится транспортом промышленного предприятия в соответствии с «Инструкцией о порядке перевозки опасных грузов автомобильным транспортом».

Все работы, связанные с загрузкой, транспортировкой, выгрузкой и захоронением отходов должны быть механизированы и герметизированы. Транспортировку отходов следует производить в специально оборудованном транспорте, исключающем возможность потерь по пути следования и загрязнения окружающей среды, а также обеспечивающем удобства при перегрузке. При перевозке мешков с КиСЦ необходимо самостоятельное устройство или тара с захватными приспособлениями для загрузки автокранами полигона.

Пылевидные отходы исходных материалов КиСЦ необходимо увлажнять на всех этапах при погрузке, транспортировке, выгрузке и разравнивании.

Перечень инструктивно-нормативных документов, необходимых для руководства при изготовлении изделий и конструкций из бетона на основе КиСЦ приведены в приложении 1.

ПРИЛОЖЕНИИ 1.

Перечень инструктивно-нормативных документов, необходимых для руководства при изготовлении изделий и конструкций из бетона на основе малоклинкерных тонкомолотых цементов.

- 1 ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные».
- 2 ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы испытаний».
- 3 ГОСТ 13015.-2012 «Изделия железобетонные и бетонные для строительства.общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения».
- 4 ГОСТ 8267-93 «Щебень из естественного камня для строительных работ».
- 5 ГОСТ 8268-82 «Гравий для строительных работ».
- 6 ГОСТ 10260-82 «Щебень из гравия для строительных работ».
- 7 ГОСТ 10263-80 «Заполнители для тяжелых бетонов. Технические требования».
- 8 ГОСТ 8736-77 «Песок для строительных работ».
- 9 ГОСТ 23732-79 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия».
- 10 ГОСТ 10922-90 «Арматурные изделия и закладные детали сварные для железобетонных конструкций».
- 11 ГОСТ 10180-2012 «Бетон тяжелый. Методы определения прочности».
- 12 ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля прочности».

ПРИЛОЖЕНИЕ Д
Технические условия на производство композиционных и специальных цементов ТОО «NE Innovation Technology»

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

НАО КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ К.И.САТПАЕВА

НАО ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М.АУЭЗОВА

ТОВАРИЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«NE INNOVATION TECHNOLOGY»

УТВЕРЖДАЮ
Директор ТОО «NE
Innovation Technology»
М. Мирхамидов
2025 г.

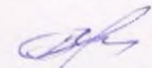


ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
КОМПОЗИЦИОННЫЙ И СПЕЦИАЛЬНЫЙ ЦЕМЕНТ

Тараз, 2025

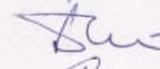
РАЗРАБОТЧИКИ:

д.т.н., профессор зав. НИЛ «СМ, С и А»,



Б.К. Сарсенбаев

д.т.н., профессор кафедры «ТС и М»



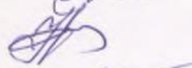
Б.Т. Таймасов

СНС НИЛ «СМ, С и А», к.т.н., доцент



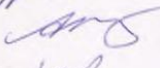
М.С. Даулетияров

ВНС НИЛ «СМ, С и А», PhD



Н.Б. Сарсенбаев

докторант кафедры «ТС и М»



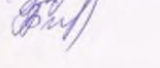
Б.Б. Амиралиев

докторант кафедры «ТС и М»



А. Куандыкова

докторант кафедры «ТС и М»



А. Абдулин

СОДЕРЖАНИЕ

1.1	Технические условия.....	4
1.1.1	Технические требования.....	5
1.1.2	Требования безопасности.....	7
1.1.3	Требования охраны окружающей среды.....	8
1.1.4	Правила приемки.....	9
1.1.5	Методы контроля.....	10
1.1.6	Транспортирование и хранение.....	10
1.1.7	Указания по эксплуатации.....	10
1.1.8	Гарантия изготовителя.....	11
	Приложение 1.....	12

1.1 Технические условия

Настоящие технические условия распространяются на композиционные и специальные цементы (далее КиСЦ) общестроительного назначения, полученный с использованием обожженных глинистых сланцев месторождения Мынарал (ГлСмМ). КиСЦ может применяться для производства бетонных и железобетонных конструкций, производства строительных и отделочных работ, изготовления сухих смесей и др.

КиСЦ — гидравлическое вяжущее вещество, получаемое совместным помолом клинкера, природного гипса и ГлСмМ.

КиСЦ на основе ГлСмМ, производят на цементных заводах, на помольных установках при предприятиях строительной индустрии и в строительных организациях.

В зависимости от соотношения материалов, ГлСмМ КиСЦ классифицируются на типы, приведенные в таблице 1.

Таблица 1-Типы и составы КиСЦ

Сокращенное обозначение	Содержание, масс. %		
	Клинкер	ГлСмМ	Природный гипс
ГлСмМ КиСЦ ₁₅	80	15	5
ГлСмМ КиСЦ ₁₀	85	10	5
ГлСмМ КиСЦ ₅	90	5	5

По прочности на сжатие в 28-суточном возрасте КиСЦ подразделяются по маркам:

ГлСмМ КиСЦ₁₅ - 500, 600

ГлСмМ КиСЦ₁₀ - 400, 500

ГлСмМ КиСЦ₅ - 300, 400

Условное обозначение КиСЦ состоит из буквенно-цифровой группы, включающей сокращенное обозначение, содержание композиционный цемент (%), марку по прочности и обозначение стандарта:

XXXч - XX - XXX -XX

КиСЦ (сокращенное буквенное обозначение)

ГлСмМ – обожженных глинистых сланцев месторождения Мынарал

ТМ – тонкомолотый

КЦ – композиционный цемент

СП – специальный цемент

содержание клинкера (%)

марка по прочности

обозначение стандарта

Пример условного обозначения смеси: КиСЦ. Допускается сокращенное обозначение: КиСЦ.

1.1.1 Технические требования

КиСЦ должен соответствовать требованиям настоящих технических условий, разработанных с учетом требований ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные ЦЕМ II/A-Сл. КиСЦ должен изготавливаться по технологическому регламенту, разработанному ТОО «NE Innovation Technology».

Требования к физико-механическим показателям качества. Прочность при сжатии КиСЦ должна быть не менее значений, указанных в таблице 2

Коэффициент вариации прочности при сжатии в возрасте 28 суток для КиСЦ каждого типа и марки, рассчитанный по результатам испытаний не более чем за квартал, не должен превышать 7%.

КиСЦ должно показывать равномерность изменения объема при испытании образцов кипячением в воде при содержании MgO до 5%, а более 5% - в автоклаве.

Начало схватывания КиСЦ должно наступать не ранее 185 мин., а конец - не позднее 265 от начала затворения.

Таблица 2-Требования к прочности при сжатии КиСЦ

Обозначение КиСЦ	Гарантированная марка	Прочность при сжатии, МПа, не менее	
		после пропаривания*	через 28 суток нормального твердения
ГлСмМ КиСЦ ₁₅	500	28,4	48,6
	600	35,3	51,3
ГлСмМ КиСЦ ₁₀	500	28,4	48,7
	400	22,3	50,4
ГлСмМ КиСЦ ₅	400	22,3	39,2
	300	15,2	29,5
* - Режим пропаривания образцов 8+(3+7+3)			

Удельная поверхность КиСЦ должна составлять 3800 ± 100 см²/г.

Влажность КиСЦ не должна превышать 1 %.

Требования к сырьевым материалам

В качестве базовых сырьевых материалов для приготовления КиСЦ используют:

- а) клинкер по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108;
- б) обожженных глинистых сланцев месторождения Мынарал;
- в) природный гипс по соответствующим нормативно-техническим документам.

При соответствующем обосновании допускается применение иных добавок, улучшающих свойства КиСЦ. Добавки не являются основными компонентами КиСЦ и должны удовлетворять требованиям ГОСТ 24211, ГОСТ 25094 и ГОСТ 24640.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$ материалов, применяемых для приготовления КиСЦ, не должна превышать предельных значений Бк/кг в соответствии с ГОСТ 30108-94.

КиСЦ сохраняет активность в плотно закрытых полиэтиленовых мешках в течение 1 года, в открытом виде - не более 3 месяцев. Через 6 месяцев открытого хранения остаточная активность КиСЦ должна быть не менее 60 % от гарантированной марки.

Маркировка КиСЦ должна быть нанесена на каждый упаковочный мешок фабричным способом. Маркировка должна быть отчетливой и содержать: наименование и адрес организации-производителя и (или) его товарный знак, наименование продукции, среднюю массу нетто (в кг), дату изготовления, гарантийный срок хранения, обозначение настоящих технических условий, инструкцию по применению.

Упаковка

КиСЦ упаковывается в трехслойные мешки по ГОСТ 2226-2013 или в плотные непрозрачные полиэтиленовые мешки. По согласованию с потребителем допускаются иные условия упаковки, не ухудшающие качества продукта.

При пакетировании мешков с КиСЦ верхний ряд мешков должен быть уложен так, чтобы была видна маркировка на мешках. Дополнительно на мешки верхнего ряда должна быть нанесена транспортная маркировка по ГОСТ 14192-96 со знаком «Беречь от влаги». Мешки с КиСЦ укладывают на деревянные поддоны на расстоянии 15 см от земли в ряды по высоте не более 1,8 м, располагая мешки в ряду тесно один возле другого при обеспечении подхода к ним.

1.1.2 Требования безопасности

Общие требования по технике безопасности при производстве КиСЦ изложены в «Правилах техники безопасности и производственной санитарии в промышленности строительных материалов», СНиП 12-02-2002 «Безопасность труда в строительстве» и СНиП 31-03-2001 «Производственные здания».

По степени воздействия на организм человека КиСЦ относится к 4 классу опасности в соответствии с классификацией по ГОСТ 12.1.007-76.

КиСЦ пожаро- и взрывобезопасен. КиСЦ относится к категории Д по пожарной опасности по ОНТП 10-99.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов не должна превышать 370 Бк/кг. Предельно допустимая концентрация пыли в воздухе 6,0 мг/м³ (по цементу).

Помольные и сушильные отделения приготовления смеси должны быть обеспечены эффективной аспирацией. Другие производственные помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией.

К работе с КиСЦ допускаются лица не моложе 18 лет и прошедшие инструктаж по технике безопасности и медицинское освидетельствование.

Для защиты органов дыхания необходимо применять респиратор ШБ-1 типа «Лепесток» по ГОСТ 12.4.028, марлевые повязки и другие противопылевые респираторы. Для защиты кожных покровов необходимо использовать специальную одежду и средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011 и ГОСТ 12.4.103.

1.1.3 Требования охраны окружающей среды

При производстве КиСЦ необходимо предусматривать удаление вредных веществ из мест их образования через аспирационные и вентиляционные системы.

Для обеспечения защиты атмосферного воздуха от загрязнений промышленными выбросами аспирационные системы должны быть оснащены пылеулавливающим оборудованием, отвечающим современным требованиям (группа циклонов и рукавных фильтров с эффективностью очистки до 98%).

По ходу приготовления КиСЦ формируются отходы производства, которые собираются на площадке приготовления и помещаются в тару. Отходы третьего класса помещают в бумажные мешки, четвертого класса собираются на промышленной площадке в виде конусообразного навала, откуда автопогрузчиком перегружаются в герметичный самосвальный автотранспорт и доставляются на полигон захоронения. Во избежание пыления сверху отходы плотно закрываются полиэтиленовой пленкой. Транспортировка промышленных отходов на полигон производится транспортом промышленного предприятия в соответствии с «Инструкцией о порядке перевозки опасных грузов автомобильным транспортом».

Все работы, связанные с загрузкой, транспортировкой, выгрузкой и захоронением отходов должны быть механизированы и герметизированы. Транспортировку отходов

следует производить в специально оборудованном транспорте, исключающем возможность потерь по пути следования и загрязнения окружающей среды, а также обеспечивающем удобства при перегрузке. При перевозке мешков с КиСЦ необходимо самостоятельное устройство или тара с захватными приспособлениями для загрузки автокранами полигона.

Пылевидные отходы исходных материалов КиСЦ необходимо увлажнять на всех этапах при погрузке, транспортировке, выгрузке и разравнивании.

1.1.4 Правила приемки

Приемку КиСЦ производят партиями. Каждая партия должна состоять из КиСЦ одной марки, оформленной одним документом о качестве.

Размер партии устанавливается в количестве 100 т.

Приемка КиСЦ техническим контролем изготовителя производится на основании данных приёмо-сдаточных испытаний

Приёмо-сдаточные испытания включают испытания КиСЦ каждой партии по всем показателям качества, предусмотренным настоящими техническими условиями.

Показателями качества при приёмке партии КиСЦ являются: удельная поверхность, активность КиСЦ при изгибе и сжатии после пропаривания и в 28-суточном возрасте нормально-влажностного твердения, сроки схватывания и равномерность изменения объема.

Для проведения приёмо-сдаточных испытаний от каждой партии КиСЦ отбирают точечные пробы общей массы не менее 10 кг.

Результаты приёмо-сдаточных и периодических испытаний заносят в журнал, который должен быть прошнурован, пронумерован и опечатан. Журнал приёмо-сдаточных испытаний является официальным документом, удостоверяющим качество продукции.

Каждая партия КиСЦ или её часть, поставляемая в один адрес, должна сопровождаться документом о качестве, в котором должно быть указано:

- наименование и адрес организации-изготовителя;
- обозначение КиСЦ по настоящему ТУ;
- номер партии, дата изготовления и отгрузки;
- гарантированная марка КиСЦ;
- удельная поверхность;
- нормальная густота и сроки схватывания;
- активность КиСЦ после пропаривания и в 28-суточном возрасте.

При получении неудовлетворительных результатов хотя бы по одному показателю приёмо-сдаточных испытаний проводят повторные испытания на удвоенном количестве продукции, взятом от той же партии. Результаты повторных испытаний являются окончательными и распространяются на всю партию.

1.1.5 Методы контроля

Удельную поверхность КиСЦ контролируют с помощью прибора ПСХ, действие которого основано, на измерении удельной поверхности порошковых материалов методом Козени-Кармана - по воздухопроницаемости и пористости уплотненного слоя порошка.

Определение физико-механических характеристик КиСЦ производят по ГОСТ 310.4-81.

Для оценки активности КиСЦ используют песок для испытаний цементов по ГОСТ 6139.

Коэффициент вариации прочности при сжатии КиСЦ рассчитывают по ГОСТ 2226.

1.1.6 Транспортирование и хранение

КиСЦ отгружают и транспортируют по ГОСТ 30515. Транспортирование КиСЦ производят автомобильным или железнодорожным транспортом в соответствии с Правилами перевозок грузов, действующих на этих видах транспорта, утвержденными в установленном порядке. При транспортировании до места потребления необходимо обеспечить отсутствие влаги и воды.

Транспортная маркировка по ГОСТ 14192 на мешках должна наноситься при помощи трафарета несмываемой краской с указанием манипуляционного знака "Беречь от влаги".

Каждая партия сопровождается документом о качестве.

При погрузке, разгрузке и транспортировании КиСЦ должны быть приняты меры, устраняющие попадание в КиСЦ цементов, наполнителей, добавок и других материалов.

Транспортирование КиСЦ должно соблюдаться с соблюдением мер, исключающих возможность повреждения целостности упаковки. Не допускается разгрузка мешков КиСЦ сбрасыванием.

КиСЦ должен храниться в сухих крытых помещениях с влажностью воздуха не более 70 % при положительных температурах в упаковке изготовителя.

1.1.7 Указания по эксплуатации

Из условий защиты арматурной стали в железобетоне от коррозии минимальный расход КиСЦ на 1 м^3 бетона должен соответствовать следующим значениям:

200 кг - ГлСмМ КиСЦ₁₅;

300 кг- ГлСмМ КиСЦ₁₀;

350 кг - ГлСмМ КиСЦ₅.

При применении КиСЦ места возможных протечек в силосах, трубопроводах, расходных бункерах и дозаторах должны быть предварительно тщательно уплотнены с учетом повышенной дисперсности и сыпучести вяжущего по сравнению с портландцементом.

При эксплуатации бетоносмесительного и виброуплотняющего оборудования необходимо учитывать вязкую консистенцию бетонной смеси на КиСЦ.

Не допускается дополнительно применять при производстве бетонов на КиСЦ пластифицирующие и гидрофобизирующие добавки, а также технологические добавки для интенсификации процесса помола.

1.1.8 Гарантия изготовителя

Изготовитель гарантирует соответствие КиСЦ требованиям настоящих технических условий при соблюдении правил транспортирования и хранения в течение 6 месяцев с момента изготовления.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Перечень нормативно-технических документов, на которые даны ссылки в технических условиях.

- 1 ГОСТ 31108-2020 Цементы общестроительные.
- 2 ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения прочности предела прочности при изгибе и сжатии.
- 3 ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
- 4 ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия.
- 5 ГОСТ 24640-91 Добавки для цементов. Классификация.
- 6 ГОСТ 30108-94 Материалы и изделия строительные. Определение удельной
- 7 эффективной активности естественных радионуклидов.
- 8 ГОСТ 2226-2013 Мешки бумажные. Технические условия.
- 9 ГОСТ 14192-96 Маркировка грузов.
- 10 СНиП 12-02-2002 Безопасность труда в строительстве. Строительное производство, часть 2.
- 11 ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
- 12 ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.
- 13 ГОСТ 12.4.103-83 Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация.
- 14 ГОСТ 12.4.028-76 ССБТ. Респираторы ШБ-1 «Лепесток». Технические условия.
- 15 ГОСТ 6139-2003 Песок для испытаний цемента. Технические условия.
- 16 ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия.
- 17 ГОСТ 24211-2003 Добавки для бетонов и строительных растворов.
- 18 ГОСТ 24640-91 Добавки для цементов. Классификация.
- 19 ГОСТ 25094-2015 Добавки активные минеральные для цементов. Методы испытаний.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Протокол испытаний опытных образцов из композиционных цементов



ПРОТОКОЛ

приемочных промышленных испытаний опытных образцов из композиционных цементов с добавками обожженного сланца, по проекту ПЦФ BR 21882292. Ведомственная приемочная комиссия, назначенная приказом от 11.08.2025 г. №1 TOO «NE Innovation Technology» произвела приемочные испытания опытной партии композиционного цемента и образцов в период с 12.08.2025г. по 11.09.2025г.

РАЗДЕЛ I

Сырьевые материалы

В качестве исходных сырьевых материалов для производства композиционных цементов использовали: портландцементный клинкер TOO «Стандарт Цемент», термообработанный глинистый сланец месторождения Мынарал, природный гипсовый камень Джамбулского месторождения (ГОСТ 4013 - 2019).

Химический анализ усредненного состава используемых материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Усредненные химические составы используемых материалов

Наименование	Химический состав, %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃
Клинкер	18,55	3,28	55,08	3,05	0,42	1,27	1,51	-
Глинистый сланец	70,41	10,38	5,38	10,64	1,6	0,75	0,75	-
Гипсовый камень	0,72	0,35	34,17	0,43	0,21	0,13	0,87	42,06

Испытания физико-механических свойств композиционного цемента с обожженным сланцем проводились согласно ГОСТ 30744-2001 Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка.

Технология производства композиционного цемента с добавками термообработанного глинистого сланца мынаральского месторождения

Композиционные цементы выпускали по одностадийной схеме производства совместным помолом природного гипса и обожженного сланца.

При одностадийном производстве характеристики сырьевых компонентов усредняются в процессе гомогенизации и, в результате, получается продукт с однородными характеристиками в каждой партии.

Производство композиционного цемента с добавкой термообработанного сланца состоит в основном из следующих операций:

- Подготовка сырья: Исходные материалы - портландцементный клинкер TOO «Стандарт Цемент», термообработанный глинистый сланец, природный гипсовый камень Джамбулского месторождения (ГОСТ 4013 - 2019) были загружены в бункеры мельницы и дозировались весовым дозатором в приемную горловину вибромельницы в соответствии с рецептурой:
- клинкер - 80%;
- глинистый сланец (обожженный при 900°C) - 15%;

- Подготовка сырья: Исходные материалы - портландцементный клинкер ТОО «Стандарт Цемент», термообработанный глинистый сланец, природный гипсовый камень Джамбулского месторождения (ГОСТ 4013 - 2019) были загружены в бункеры мельницы и дозировались весовым дозатором в приемную горловину вибромельницы в соответствии с рецептурой:

- клинкер - 80%;
- глинистый сланец (обожженный при 900°C) - 15%;
- природный гипсовый камень - 5% (для регулирования сроков схватывания).

Технологическая линия помола вяжущих снабжена сепараторами и аспирационными устройствами, чтобы:

- соответствовать санитарным нормам концентрации пыли в помещениях (в воздухе);

- улавливать пыль;

- возвращать в силос пылевидные материалы, с целью дальнейшего их использования в качестве композиционного цемента;

- понижать температуру в мельнице, выносить из камеры достаточно измельченный материал;

- повысить производительность мельниц.

Опытно-промышленные испытания:

Помол экспериментального цемента проводился в цеховой вибромельнице. Качество процесса помола цемента контролировалось по удельной поверхности цемента, которая составляла 3700 - 3950 см²/г, по остатку на сите №008 до 8-12%.

Измерение параметров: В ходе помола фиксировались следующие параметры:

- расход материалов;
- тонкость помола по остатку на контрольном сите;
- удельная поверхность цемента;
- температура цемента на выходе из мельницы.

Совместный помол клинкера, природного гипса и термообработанного глинистого сланца осуществляли на вибромельнице ВМ-1000.

Производительность мельницы - 5 т/ч. Объем производства опытной партии композиционного цемента - 20 тонн. Время работы: 20 т / 5 т/ч = 4 часа.

Физико-механические испытания: Изготовленные образцы (балочки 40х40х160 мм) из полученного цемента подвергались испытаниям на тонкость помола, удельную поверхность, прочность при изгибе и сжатии, сроки схватывания и водоцементное отношение в соответствии с таблицей №2.

Температура цемента на выходе из мельницы составила 70 °С.

Таблица 2 - Результаты физико-механических испытаний портландцемента с обожженным глинистым сланцем месторождения Мынарал, при 900 °С

№	Состав цемента СЕМ II/A-Сл, %			Остаток на сите №008, %	Удельная поверхность цемента, см ² /г	Нормальная густота, %	Начало схватывания, мин
	Клин-кер	Обож-женный сланец	Гипсо-вый ка-мень				
1	90	5	5	9,6	3750	27	185
2	85	10	5	9,4	3800	27	190
3	80	15	5	9,3	3850	27	195
4	75	20	5	9,1	3900	27,5	200
5	70	25	5	9,2	3950	28	205

Продолжение таблицы 2

№	Равномерность изменения объема, мм	В/Ц	Прочность при изгибе, МПа			Прочность при сжатии, МПа		
			2 сут	7 сут	28 сут	2 сут	7 сут	28 сут
1	6	0,5	3,1	4,5	5,7	18,6	34,1	45
2	6	0,5	3,2	4,6	5,7	19,0	35,4	46
3	6	0,5	3,2	4,7	5,8	19,4	35	46,5
4	7	0,5	2,6	3,9	5,5	16,3	31	43
5	7	0,5	2,5	3,7	5,3	12,5	24	39

Высокую прочность полученного цемента показал состав с добавкой 15% обожженного глинистого сланца, при сжатии через 28 суток твердения составило 46,5 МПа, нормальная густота - 27%; Сроки схватывания: Начало: 195 мин. Прочность при сжатии, МПа: 2 суток - 19,4; 7 суток - 35; 28 суток - 46,5, что соответствуют требованиям ГОСТ 31108-2020 для цементов класса прочности СЕМ II/A-Сл 42,5Н. Остальные показатели качества также соответствуют требованиям ГОСТ.

РАЗДЕЛ II

Испытания образцов согласно программы испытаний и их результаты показали техническую возможность изготовления композиционного цемента СЕМ II/A-Сл 42,5Н с добавкой 15 % обожженного сланца.

Использование данной добавки позволяет сократить содержание клинкера в композиционном цементе на 15 %, что ведет к снижению выбросов CO₂ в атмосферу на 15 %, а также к уменьшению себестоимости готовой продукции.

РАЗДЕЛ III

Выводы и предложения. Рекомендуется внедрить в производство выпуск композиционного цемента с обожженными сланцами СЕМ II/A-Сл с добавкой 15% обожженного при 900°C глинистого сланца мынаральского месторождения.

Председатель комиссии:

Руководитель по производству

Инженер планово-технического отдела



М.М. Мирхамидов

Ш.Б. Ыбраимкулов

от ЮКУ им М. Ауэзова:

д.т.н., профессор кафедры «ТС и М»

ВНС НИЛ «СМ, С и А», PhD

СНС НИЛ «СМ, С и А», к.т.н., доцент

докторант кафедры «ТС и М»



Б.Т. Таймасов

Н.Б. Сарсенбаев

М.С. Даулетияров

Б.Б. Амиралиев

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

АКТ приемки опытных образцов



УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ТОО «NE Innovation Technology»

Мирхамидов М.М.
2025 г.

АКТ №002 от 22.10.2025 г.
приемки опытных образцов комиссией

Ведомственной приемочной комиссией на основании приказа ТОО «NE Innovation Technology» от 11.08.2025 г. №1 проведены промышленные испытания и приемка в соответствии с утвержденной ТОО «NE Innovation Technology» программой получения и испытания опытных образцов из композиционных цементов с добавками обожженного сланца, по проекту ПЦФ BR 21882292.

Ведомственная комиссия считает предъявленную опытную партию композиционного цемента соответствующей требованиям и принятыми.

Протокол приемочных испытаний опытной партии композиционного цемента является неотъемлемой частью настоящего акта.



Председатель комиссии:
Руководитель по производству

М.М.Мирхамидов

Инженер планово-технического отдела

Ш.Б.Ыбраимкулов

от ЮКУ им М. Ауэзова:
д.т.н., профессор кафедры «ТС и М»

ВНС НИЛ «СМ, С и А», PhD

СНС НИЛ «СМ, С и А», к.т.н., доцент

докторант кафедры «ТС и М»

Б.Т.Таймасов

Н.Б. Сарсенбаев

М.С.Даулетияров

Б.Б.Амиралиев

ПРИЛОЖЕНИЕ И

Внедрение результатов исследований в промышленность

Ф.7.07-15

СОГЛАСОВАНО

Врио Проректора по НР и И
ЮКУ им.М.Ауэзова

Асилбеков Б.К.

« 01 » 10 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ТОО «NE Innovation
Technology»

Мирхамидов М.М.

« 30 » 10 2025 г.

АКТ №002

внедрения результатов научно-исследовательских работ в производство для
технических специальностей

Мы, нижеподписавшиеся представители,
ТОО «NE Innovation Technology» Мирхамидов М.М. и Ыбраимкулов Ш.Б.
(указывается организация)

настоящим актом подтверждаем, что результаты научно-исследовательской
работы по результатам диссертационной работы «Разработка и исследование
свойств композиционных цементов с пониженными выбросами углекислого
газа».

выполненный на кафедре «Технология силикатов и металлургия» внедрены
в ТОО «NE Innovation Technology»
(указывается организация)

Вид внедрения результатов: Выпуск опытно-промышленной партии
композиционных и специальных цементов.

Область и форма внедрения: Промышленное испытание

Эффект внедрения: оптимизация производства, эффективное использование
ресурсов

Выводы и предложения: Рекомендована внедрение в производство.

От вуза

Директор ДАН Назарбек Ұ.Б.

Руководитель НИР Таймасов Б.Т.

Исполнители

Даулетияров М.С.

Амиралиев Б.Б.

« 01 » 10 2025 г.

От предприятия

Руководитель по производству

Мирхамидов М.М.

Инженер планово-технического отдела

Ыбраимкулов Ш.Б.

« 30 » 10 2025 г.