

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. И. Раззакова**

**КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. Б.Н. Ельцина**

Диссертационный совет Д 05.23.664

На правах рукописи  
УДК 691.54 (043.3)

**КУЛЬШИКОВА САУЛЕ ТЮЯКБАЙЕВНА**

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРЫ И СВОЙСТВ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ И  
МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ**

05.23.05 – строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**БИШКЕК - 2023**

Диссертационная работа выполнена на кафедре производство и экспертиза строительных материалов, изделий и конструкций Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова.

**Научный руководитель:** **Джусупова Махават Абдысадыковна**  
кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры производство и экспертиза  
строительных материалов, изделий и  
конструкций Кыргызского государственного  
технического университета им. И. Раззакова

**Официальные оппоненты:** **Курдюмова Валентина Мифодьевна**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры строительные конструкции,  
здания и сооружения Кыргызского  
государственного технического университета  
им. И. Раззакова

**Касымов Турат Мугалимович**  
кандидат технических наук, доцент,  
проректор по учебно-воспитательной работе  
Международного университета инновационных  
технологий

**Ведущая организация:** **Государственный институт сейсмостойкого  
строительства и инженерного проектирования**  
Адрес: 720048, Кыргызская Республика,  
г. Бишкек, ул. Ч. Валиханова, 2

Защита диссертации состоится 29 мая 2023 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 05.23.664 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора (кандидата) технических наук при Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720020, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Малдыбаева 34, б, ауд. 1/101, [www.kstu.kg](http://www.kstu.kg), тел: 0(312) 543561, факс: 0(312) 545162. Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации: <https://vc.vak.kg/b/052-cxc-nsq-nbk>.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеках Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова по адресу: 720044, г. Бишкек, пр. Ч. Айтматова, 66 и Кыргызско-Российского Славянского университета им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44 и на сайте [www.kstu.kg](http://www.kstu.kg).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.т.н., доцент



Маданбеков Н. Ж.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** В настоящее время в Кыргызстане особенно остро стоят вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Удовлетворение потребности производства в сырьевых ресурсах в соответствии с концепцией устойчивого развития страны должно учитывать интересы общества и интересы нынешнего и последующих поколений.

Из огромного количества минерального сырья, извлекаемого из природной среды для целей производства, в конечный продукт превращается лишь 1,5-2,0%. В Кыргызстане только на одной Бишкекской ТЭЦ (БТЭЦ) с электрической мощностью 666 МВт, тепловой - 1443,9 Гкал/час ежедневно выбрасывает в окружающую среду 20-25 тонн золы и различные соединения оксидов углерода и др. В год объем золы и шлаковых отходов составляет 300-350 тысяч тонн и занимает 178 гектаров земельных угодий.

Установлено, что использование промышленных отходов позволяет покрыть до 40 % потребности строительства в сырьевых ресурсах, а также на 10–30 % снизить затраты на изготовление строительных материалов по сравнению с производством их из природного сырья.

Эффективной заменой традиционных вяжущих могут стать композиционные вяжущие на базе портландцемента и наполнителя из золошлаковых отходов (ЗШО). Причем, производство такого цемента можно осуществлять как на цементном заводе, так и непосредственно на предприятии по выпуску товарного бетона, бетонных и железобетонных изделий. Непосредственно на ТЭЦ необходима установка оборудования по переработке ЗШО в кондиционный продукт для заинтересованных потребителей. По данной проблеме занимались такие ученые как С.М. Зозенблит (1931-1932 гг.), П.П. Будников (1947-1949 гг.), А.В. Волженский (1953-1955 гг.), Ю.М. Баженов (1963-1965 гг.), Ю.М. Бутт (1974-1976 гг.), С.Г. Караханиди (1995-1999 гг.), М.Р. Нахаев (2011-2015 гг.) и др.

Основной причиной отставания Кыргызстана от ведущих стран мира по показателям ресурсоемкости экономики является низкий уровень развития производственной базы, использование устаревшего оборудования. Из-за несовершенства технологической базы значительная часть перерабатываемого сырья переходит в категорию отходов, в огромном количестве накапливающихся в отвалах. Хотя многие отходы по своему составу и свойствам близки к природному сырью.

Основным потребителем таких отходов может являться строительная индустрия, как наиболее материал- и энергоемкая отрасль.

В связи с вышеизложенным, для интенсификации утилизации ЗШО в строительной отрасли и оздоровления окружающей среды назрела острая необходимость в систематизации исследований данных топливных отходов.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является разработка составов и технологии получения композиционных цементных вяжущих веществ и мелкозернистых бетонов с использованием золошлаковых отходов.

Для достижения цели решались следующие задачи исследования:

- исследование химико-минералогического состава и основных классификационных признаков золошлаковых отходов;
- изучение физико-химических особенностей структурообразования композиционного цементного вяжущего вещества с использованием золошлаковых отходов;
- изучение влияния механической активации, количества и способа введения золошлаковых отходов на свойства вяжущих веществ;
- оценка эффективности использования цемента в композиционных вяжущих веществах разной степени наполненности отходами;
- исследование основных физико-механических свойств заполнителей из золошлаковых отходов и определение оптимального состава для мелкозернистых бетонов;
- разработка составов мелкозернистых бетонов на основе композиционных цементных вяжущих и заполнителей из золошлаковых отходов;
- разработка технологической схемы и расчет экономической эффективности изготовления композиционных вяжущих веществ и изделий из них.

#### **Научная новизна полученных результатов:**

1. выявлено, что независимо от метода отбора из топочных агрегатов и условий хранения золошлаковых отходов они имеют равнозначный химический состав, но отличаются фазовым составом, влияющий на процессы структурообразования композиционного вяжущего вещества.
2. выявлены закономерности влияния способа введения, времени активации, вида и количества золошлаковых отходов на основные физико-механические и структурные характеристики композиционных вяжущих веществ.
3. установлена зависимость эффективности использования портландцемента в композиционных вяжущих веществах от наполнителя золошлаковыми отходами и условий твердений.
4. установлен оптимальный гранулометрический состав мелкого заполнителя из топливного шлака для мелкозернистых бетонов на цементнозольных и цементнозолошлаковых вяжущих.
5. получены экспериментально-статистические модели основных свойств композиционных вяжущих веществ с наполнителями из золы гидроудаления или золошлаковой смеси.

6. разработаны оптимальные составы облегченного мелкозернистого бетона классов В7,5 - В20,5 на композиционных вяжущих веществах из золы гидроудаления или золошлаковой смеси и шлакового заполнителя.

**Практическая значимость полученных результатов:**

- получены композиционные вяжущие вещества, оптимально наполненные золой гидроудаления или золошлаковой смесью;
- установлен оптимальный фракционный состав мелкого заполнителя из топливного шлака, способствующий полному или частичному замещению природного песка для мелкозернистого бетона;
- разработаны оптимальные составы композиционных вяжущих веществ с различным количеством золы гидроудаления или золошлаковой смеси;
- разработаны оптимальные составы мелкозернистого бетона на шлаковом заполнителе рациональной фракции;
- разработана нормативная документация (технологические карты) на производство композиционных вяжущих веществ и изделий из мелкозернистого бетона
- результаты работы апробированы в ЗАО «Кум-Шагыл».
- 

**Экономическая значимость полученных результатов.** При условии выпуска цементнозолыного вяжущего 10000т в год экономический эффект составит 3422300 сом. Экономический эффект при условии выпуска цементнозолошлакового вяжущего 10000т в год составит 3836970 сом. Экономический эффект на производство 10000 штук условного стенового блока из мелкозернистого бетона В-15 (М200) составит 29600 сом.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

- результаты исследований основных физико-химических и физико-механических характеристик ЗШО для оценки возможности использования их в качестве наполнителя в вяжущих веществах и заполнителя для МЗБ.
- результаты исследований физико-механических свойств композиционных вяжущих веществ и оценка эффективности способа введения ЗШО (зола-гидроудаления или золошлаковая смесь) в цементную матрицу.
- результаты исследования характеристик топливных шлаков для оценки пригодности их использования в качестве мелкого заполнителя в МЗБ.
- оптимальные составы композиционных вяжущих веществ различной степени дисперсности и наполнения золой гидроудаления или золошлаковой смесью.
- оптимальные составы МЗБ, классов В 7,5 – В 20,5 на основе композиционных вяжущих веществ и мелкого заполнителя из топливного шлака.
- технологическая схема и технико-экономические характеристики производства вяжущих веществ и бетона на заполнителе из ЗШО.

**Личный вклад соискателя** состоит в разработке оптимальных составов композиционных вяжущих веществ с применением золы гидроудаления и золошлаковой смеси и мелкозернистых бетонов на их основе. Автор является организатором и исполнителем работ, связанных с обработкой и выполнением экспериментальных исследований. Обработка полученных данных, выявление закономерностей, подготовка документации для практической реализации полученных результатов, разработка основных положений, выводов и рекомендаций по научным исследованиям выполнены автором.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения и отдельные разделы работы докладывались и обсуждались на республиканских и международных научно-технических конференциях: Regional Academy of Management European Scientific Foundation Institute Materials of the II International scientific-practical conference «THE EUROPE AND THE TURKIC WORLD: SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY» (Izmir, 2017); на Международной научно-практической конференции «НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ» (г. Шымкент, 2017); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективности в строительстве» (г. Алматы, 2018); Международной научно-практической конференции «Вызовы современности: инновационное развитие строительной отрасли, проблемы ее цифровизации и стандартизации» (г. Бишкек, 2019); «Membership in the WTO: Prospects of Scientific Researches and International Technology Market» Materials of the IV International Scientific-Practical Conference, (Vancouver, 2019); Международном семинаре «Моделирование и оптимизация строительных композитов» (г. Одесса, 2019).

**Полнота отражения результатов диссертации в публикациях.** По результатам исследований опубликовано 15 научных публикаций, в том числе в зарубежных изданиях РИНЦ - 9, SCOPUS – 1.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 230 наименований и 3 приложений. Диссертация изложена на 191 страницах и включает 37 рисунков и 46 таблиц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** сформулирована проблема и обоснована актуальность проводимых исследований, приведена краткая характеристика новизны и практической значимости работы.

**В первой главе «Аналитический обзор по использованию золошлаковых отходов в вяжущих и бетонах»** рассмотрен обзор по использованию золошлаковых отходов в вяжущих и бетонах, которые отличаются многообразием и зависят от вида и условий сжигания топлива и по-разному влияют на качество продукции на их основе. Это приводит к

необходимости разработки для каждого вида отхода особых методов их подготовки.

Возможность использования различных минеральных добавок (МД) в цемент была научно обоснована в исследованиях В.Н. Юнга. В развитии представлений о цементном камне, названном «микробетоне» он доказал, что затвердевший цементный камень содержит большое количество непрореагировавших зерен цемента, которые можно заменить без потери прочности соответствующими фракциями минеральных добавок (МД).

Основные положения по использованию тонкодисперсных МД в цементных системах заложили В. А. Кинд, В. Н. Юнг, П. П. Будников, Ю. М. Бутт. Развитие этого научного направления продолжили Н. И. Федынин, А. В. Волженский, М. М. Сычев, В. И. Соломатов, Л. И. Дворкин, В. Г. Батраков, Ю. М. Баженов, В. И. Калашников, Р.В.Лесовик и др. Отечественные разработки по использованию техногенного сырья принадлежат С.Г. Караханиди, А.А. Ассакуновой Б.Т., А.А.Абдыкалыкову и др.

Изучение процессов структурообразования композиционных материалов целесообразно рассматривать на основании положений физико-химической механики дисперсных систем. Дисперсные системы с развитой поверхностью и высокой концентрацией характеризуются самопроизвольным образованием пространственных структур, которые определяют основные для них структурно-механические свойства.

Основой создания композиционных материалов (КМ) с заданными свойствами является взаимосвязь «назначение – свойства – состав». Управление свойствами, т. е. получение комплекса заданных свойств состоит в выборе сырья, придании ему необходимых технологических свойств с последующей технологической обработкой компонентов для получения требуемых свойств. Для этого в свою очередь нужны углубленные теоретические исследования наполненных систем как на микро-, так и на макроуровне. Необходимо определить влияние природы, размера, формы, физико-химических свойств частиц с определением количественных характеристик и изучить механизмы и кинетику твердения различной природы.

Деление минеральных компонентов бетона на наполнители и заполнители отражает принципиально разную их роль в физико-механических процессах структурообразования, при этом к наполнителям относят порошки с высоким модулем поверхности, а к заполнителям частицы с размерами до 50 мм и более. Наполнители не должны создавать в окружающем материале поля деформации и напряжений, их размер позволяет им участвовать в физико-механических процессах организации структуры связующего.

Уже многие десятилетия активные минеральные добавки успешно используются в цемент и бетон. При целенаправленной их модификации они способствуют повышению прочности, деформативности, морозостойкости, долговечности строительных конструкций и сооружений. Основным источником могут являться техногенные отходы производства топливно-энергетической промышленности.

За многие годы в Кыргызстане скопилось более миллиарда тонн золошлаковых отходов (ЗШО). Основываясь на основные теоретические положения и практический опыт по использованию МД, ЗШО могут успешно использоваться в виде наполнителей в цемент и заполнителей в бетоны различного назначения.

**Вторая глава «Характеристика сырья и методика проведения экспериментальных исследований»** представлена в разрабатывании структурно-методологической модели проведения исследований.

**Объект исследования:** композиционные вяжущие вещества и мелкозернистый бетон.

**Предмет исследования:** портландцемент, зола гидроудаления, золошлаковая смесь и топливный шлак. Для получения композиционных вяжущих веществ был использован цемент КЦШК ПЦ400 Д20 минералогического состава, %:  $C_3S$  - 63,3;  $C_2S$  - 15,9;  $C_3A$  - 5,4 и  $C_4AF$  - 12,5.

В качестве наполнителей использовались золошлаковые отходы (ЗШО) и котельных, которые в зависимости от отбора, горения и хранения были разделены: зола гидроудаления и золошлаковая смесь. Химический состав, %:  $SiO_2$  - 52,09%;  $Al_2O_3$  - 20,0%;  $Fe_2O_3$  - 2,23;  $CaO$  - 5,74 и др.н.ч. - 11.

В качестве заполнителей для мелкозернистого бетона (МЗБ) использовался природный полевошпатовый песок Васильевского месторождения, имеющий модуль крупности  $M_k$  - 2,52 и минералогический состав, (%): кварц - 56,69; полевоый шпат - 12,23; темноцветные минералы - 18,8; слюда - 0,4. Топливный шлак (ТШ) входит в состав исследуемых ЗШО и состоит из зольной составляющей (частицы золы и шлака размером менее 0,315 мм) и шлаковой, включающей песок – 0,315 до 5 мм и шлаковый щебень – зерна свыше 5 мм. Химический состав, %:  $SiO_2$  - 54,95;  $Al_2O_3$  - 20,56;  $Fe_2O_3$  - 1,06;  $FeO$  - 3,96;  $CaO$  - 7,67;  $MgO$  - 2,22;  $SO_3$  - 0,17;  $TiO_2$  - 0,88;  $MnO$  - 0,10;  $K_2O + Na_2O$  - 3,6; ппп - 4,07.

Физико-химические исследования проводились с использованием растровой электронной микроскопии, рентгенофазового и дифференциально-термического методов анализа.

Анализ результатов экспериментальных исследований композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонов проводился с использованием методов экспериментально-статистического моделирования.

**Третья глава «Исследование и оптимизация составов композиционных вяжущих веществ с использованием топливных отходов»** посвящена изучению химического и фазового состава ЗШО и для определения направления использования золошлаковых отходов определены основные классификационные признаки: модуль кислотности, модуль основности, силикатный (кремнеземистый модуль), модуль активности и коэффициент качества. Установлено, что ЗШО относятся к кислому типу с не стабильным химическим составом, малым количеством свободного оксида кальция и большим содержанием оксида кремния. Следовательно, такие золы не



обладают самостоятельными вяжущими свойствами, но обладают пуццоланической активностью к CaO. Средняя насыпная плотность золы составляет 800-850 кг/м<sup>3</sup>, истинная плотность 1,82-2,20 г/см<sup>3</sup>, удельная поверхность золы составляет 2230-2250 см<sup>2</sup>/г.

При измельчении золы в шаровой мельнице установлена ее легкая размалываемость. В течение получаса  $S_{уд}$  золы достигает дисперсности цемента (310 м<sup>2</sup>/кг). При помоле 1 час  $S_{уд}$  достигает 360 м<sup>2</sup>/кг, а при 1,5 часа 380 м<sup>2</sup>/кг. При дальнейшем измельчении идет замедление роста дисперсности, и при измельчении в течение трех часов,  $S_{уд}$  остается в пределах 390 м<sup>2</sup>/кг, т.е. после 1,5 часов измельчения в шаровой мельнице происходит замедление роста показателя дисперсности золы ГУ.

По степени гидратации цемента и цементнозольного камня комплексным методом определялось количество химически связанной воды, свободной извести на образцах 1; 3; 7; 28 и 150 суточного возраста. Если для цемента к 150 суткам CaO составила 5,18%, то в образцах цементнозольного камня 0,3%.

Исследование фазового состава исследуемых зол показали наличие кварца –  $d = \text{SiO}_2$   $d = 4,24; 3,34; 2,44; 1,81; \text{\AA}$ , муллита ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2 \times \text{SiO}_2$ )  $d = 5,39; 3,35; 2,86; 2,52; 2,19 \text{\AA}$  и карбонатов, представленных бесцветным мелким образованием кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ) и доломита ( $\text{MgCO}_3 \times \text{CaCO}_3$ ). Девитатограмма подтверждает данные рентгенографического анализа, и дает основание судить об устойчивом составе неорганической части золы. По вещественному составу зола состоит из стекловидных и кристаллических фаз, которая состоит из аморфизированного глинистого вещества и зерен обломочного материала кварца, полевого шпата, карбоната кальция и магния, а также выделившихся из расплава двухкальциевого силиката, алюмината кальция, муллита. Шлаковый гравий состоит в основном из стекловидных фаз: стекло желтоватое, относящееся к системе  $\text{CaO} - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ ; стекло бурое, темное и черное, с содержанием стеклофазы (20-30%); отмечаются кристаллические образования (кварц, кальцит, муллит, магнетит,  $\text{C}_2\text{S}$ ;  $\text{CA}$  и др.). В результате механоактивации золы усиливается эффект пуццоланизации тонкодисперсной золы.

Применение ЗШО в производстве вяжущих веществ возможно по двум направлениям: в качестве активной минеральной добавки к клинкеру непосредственно на цементном заводе, не снижая марку цемента и не изменяя его нормативные характеристики и в качестве наполнителей в цемент с предварительной или совместной активацией (помолом).

В данных исследованиях изучено влияние топливных отходов (зола ГУ и ЗШС) на основные физико-механические характеристики композиционных вяжущих веществ ( $\text{ЦЗВ}_м$ ;  $\text{ЦЗВ}_и$ ;  $\text{ЦЗШВ}_м$ ;  $\text{ЦЗШВ}_и$ ) при различных способах их введения (механическое) смешивание измельченных отходов с цементом или их совместный помол (измельчение).

На предварительном этапе изучены основные физико-механические свойства композиционных вяжущих, наполненных золой-гидроудаления или золошлаковой смесью и установлено, что эффективность использования ЗШО возрастает при их предварительной активации с цементом.

Для дальнейшего изучения влияния количества и степени измельчения зольного наполнителя с цементом на основные свойства цементнозольного вяжущего (ЦЗВ<sub>и</sub>) был реализован двухфакторный эксперимент, где в качестве варьируемых факторов служили:  $X_1$  - количество золы  $20 \pm 10$  % и  $X_2$  - время измельчения  $1 \pm 1$  час. В качестве выходных параметров экспериментов были выбраны: сроки схватывания, час. (начало -  $Y_1$ ), (конец -  $Y_2$ ), плотность после ТВО ( $Y_3$ ) и после 28 суток ( $Y_6$ ) и прочность на изгиб и сжатие, МПа ( $Y_4 - R_{изг}^{ТВО}$ ;  $Y_5 - R_{сж}^{ТВО}$ ;  $Y_7 - R_{изг}^{28сут}$  МПа;  $Y_8 - R_{сж}^{28сут}$ ),  $Y_9$  - коэффициент размягчения Кр.

По результатам эксперимента были получены математические модели свойств ЦЗВ<sub>и</sub> и их графические образы

$$Y_1 (\text{нач.схв.}) = 3,88 + 0,39 x_1 - 0,65 x_1^2 - 0,72 x_2 + 0,75 x_2^2 - 0,55 x_1 x_2 \quad (1)$$

$$Y_2 (\text{конец.схв.}) = 9,33 + 0,32 x_1 + 0,94 x_1^2 - 0,68 x_2 + 0,05 x_2^2 - 0,28 x_1 x_2 \quad (2)$$

$$Y_3 (\rho^{ТВО}) = 2,21 - 0,02 x_1 - 0,001 x_1^2 - 0,007 x_2 + 0,01 x_2^2 + 0,007 x_1 x_2 \quad (3)$$

$$Y_4 (R_{изг}^{ТВО}) = 5,60 + 0,41 x_1 + 0,22 x_1^2 + 0,07 x_2 - 0,03 x_2^2 - 0,03 x_1 x_2 \quad (4)$$

$$Y_5 (R_{сж}^{ТВО}) = 21,23 - 1,3 x_1 + 0,1 x_1^2 + 3,65 x_2 - 1,25 x_2^2 + 0,53 x_1 x_2 \quad (5)$$

$$Y_6 (\rho^{28}) = 2,158 - 0,018 x_1 - 0,002 x_1^2 + 0,01 x_2 + 0,013 x_2^2 + 0,002 x_1 x_2 \quad (6)$$

$$Y_7 (R_{изг}^{28сут}) = 5,23 + 0,01 x_1 + 0,13 x_1^2 + 0,04 x_2 + 0,30 x_2^2 - 0,25 x_1 x_2 \quad (7)$$

$$Y_8 (R_{сж}^{28сут}) = 31,91 - 2,79 x_1 - 0,14 x_1^2 + 6,23 x_2 - 4,71 x_2^2 - 0,92 x_1 x_2 \quad (8)$$

$$Y_9 (Кр) = 1,15 - 0,02 x_1 - 0,06 x_1^2 + 0,0762 x_2 + 0,04 x_2^2 + 0,042 x_1 x_2 \quad (9)$$

Анализ коэффициентов моделей (1) и (2) показал, что длительный помол ( $x_2 = +1$ ) золы с цементом снижает сроки схватывания, вяжущего линейный эффект ( $b_2 = -0,72$  и  $b_2 = 0,68$ ), а максимальная концентрация золы ( $x_1 = +1$ ) приводит к увеличению сроков схватывания  $Y_1$  и  $Y_2$  ( $b_1 = 0,39$  и  $b_1 = 0,32$ ).

Как известно, цементный камень состоит из микро-, макрокристаллов и гелеобразной массы. Наибольшая плотность структуры цементнозольного камня обеспечивается при наименьшем размере межзерновых пустот. Установлено, что плотность вяжущего после ТВО снижается по мере наполнения, вяжущего золой от 2,2 до 2,16 г/см<sup>2</sup>, а при 28 суточном твердении (рис.1) от 2,17 до 2,14 г/см<sup>2</sup>.

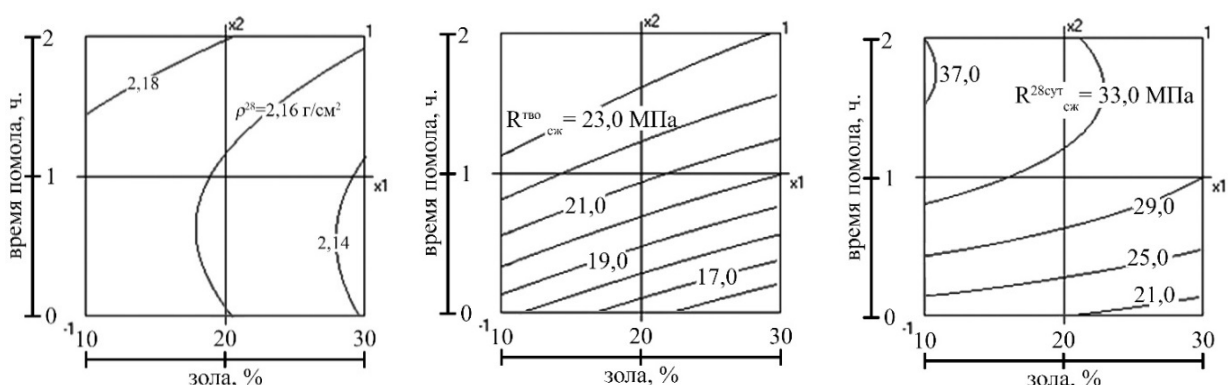


Рисунок 1 - Плотность ( $\rho^{28}$ ), прочность после ТВО ( $R_{сж}^{ТВО}$ ) и при 28 сутках ( $R_{сж}^{28сут}$ ) образцов цементнозольного вяжущего ЦЗВ

Наполнение вяжущего золой до 30% несколько повышает  $R_{изг}^{ТВО}$  от 5,0 до 6,5 МПа, а прочность  $R_{сж}^{ТВО}$  на сжатие ЦЗВ<sub>и</sub> без активации снижается незначительно от 18,5 до 16,0 МПа, для образцов 28 суточного твердения  $R_{сж}^{28сут}$  остается равнозначной 21,0...22,0 МПа.

Активация 1 час цемента с 10-20% золой ГУ обеспечивает вяжущему ЦЗВ<sub>и</sub> прочность равнозначную с чистым цементом  $R_{сж}^{28сут} = 30-33$  МПа.

При помоле 2 часа цемента с золой 30% прочность ЦЗВ растет от 16 до 23 МПа, т.е. на 50%. Наибольший технический эффект по прочности ЦЗВ<sub>и</sub>  $R_{сж}^{28сут} = 37$  МПа обеспечивается при активации 2 часа цемента с золой 10%.

Коэффициент размягчения для всех вяжущих во всех 9 точках плана эксперимента являлся удовлетворительным  $Kp \geq 1,0$ .

Оптимизация состава вяжущего ЦЗШВ<sub>и</sub> с наполнителем из ЗШС проводилась по рассчитанным коэффициентам математических моделей свойств (10-15) ЦЗШВ<sub>и</sub> и их графическим образам в виде номограмм (рис.2).

$$Y_1 (\text{нач.схв.}) = 2,59 + 0,21 x_1 - 0,08 x_1^2 - 0,58 x_2 + 0,18 x_2^2 - 0,01 x_1 x_2 \quad (10)$$

$$Y_2 (\text{конеч.схв.}) = 5,61 + 0,49 x_1 - 0,67 x_1^2 - 0,37 x_2 + 0,23 x_2^2 + 0,01 x_1 x_2 \quad (11)$$

$$Y_{(3)} (R_{изг}^{TBO}) = 4,65 - 0,34 x_1 + 0,16 x_1^2 + 0,56 x_2 + 0,45 x_2^2 - 0,35 x_1 x_2 \quad (12)$$

$$Y_{(4)} (R_{сж}^{TBO}) = 19,4 - 2,25 x_1 + 0,05 x_1^2 + 1,99 x_2 - 1,96 x_2^2 - 0,65 x_1 x_2 \quad (13)$$

$$Y_{(5)} (R_{изг}^{28сут}) = 7,10 - 0,81 x_1 - 0,52 x_1^2 + 0,44 x_2 - 0,92 x_2^2 - 0,17 x_1 x_2 \quad (14)$$

$$Y_{(6)} (R_{сж}^{28сут}) = 29,88 - 4,90 x_1 + 0,90 x_1^2 + 4,28 x_2 - 0,38 x_2^2 + 2,44 x_1 x_2 \quad (15)$$

Прочность образцов ЦЗШВ  $Y_4 (R_{сж}^{TBO})$  (рис.2) снижается по мере увеличения концентрации ЗШС: при механическом перемешивании от 20,5 до МПа 17,5 МПа; при помоле 1 час  $R_{сж}^{TBO}$  падает от 22 до 17 МПа; при 2 часа от 25 до 20 МПа. Прочность  $R_{сж}^{TBO}$  вяжущего с наполнителем ЗШС 10-30% повышается при измельчении 2 часа от 19,5 до 25 МПа и от 19,0 до 23 МПа.

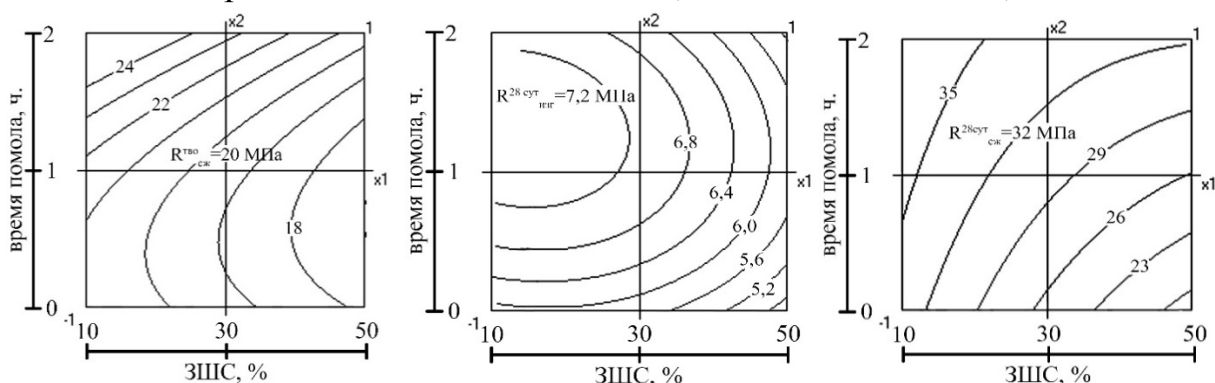


Рисунок 2 - Прочность после ТВО ( $R_{сж}^{TBO}$ ), при 28 сутках изгиб ( $R_{изг}^{28сут}$ ), сжатие ( $R_{сж}^{28сут}$ ) образцов цементнозолошлакового вяжущего ЦЗШВ

Повысить прочность вяжущего при 10% содержании ЗШС возможно, увеличив время помола до 2 часов от 20,5 до 25 МПа. А при концентрации ЗШС 50% при совместном помоле 2 часа рост прочности незначителен от 18 до 20 МПа. Активация ЦЗШВ увеличивает прочность на изгиб и максимальна  $R_{изг}^{28сут} = 7,2$  МПа, а с увеличением ЗШС наблюдается спад до 5,2...5,6 МПа. Прочность на сжатие после 28 суток твердения вяжущего без помола с наполнением до 50% снижается от 33 до 20 МПа. А помол 2 часа снижает этот эффект от 37 до 32 МПа. Установлено, что для максимального наполнения 50% ЗШС и получения вяжущего ЦЗШВ<sub>и</sub> активностью 29-32 МПа обязательным технологическим приемом является помол 1,5 – 2 часа.

Таким образом, регулируя время помола и количество наполнителя в цементе можно обеспечить заданную марку композиционного вяжущего.

Целесообразность использования наполнителей золы гидроудаления и золошлаковой смеси оценивалась по коэффициенту эффективности ( $K_{эф}$ ) использования цемента в рассматриваемых вяжущих. Для расчета  $K_{эф}$  использованы результаты прочности после ТВО и 28суточного возраста для цементов, содержащих 10-50 % зольных отходов (ЦЗВ<sub>м</sub>; ЦЗВ<sub>и</sub>; ЦЗШВ<sub>м</sub>; ЦЗШВ<sub>и</sub>).

По результатам исследований (рис. 3) установлено, что наибольший  $K_{эф}$  характерен для вяжущих, полученных совместным измельчением цемента и золошлаковой смеси. В зависимости от концентрации ЗШС  $K_{эф}$  меняется от 0,383 до 0,563. Для вяжущего на основе цемента и золы ГУ  $K_{эф}$  коэффициент эффективности изменяется от 0,335 до 0,432. Причем, эффективность использования наполнителей в цементы повышается при твердении условиях ТВО.

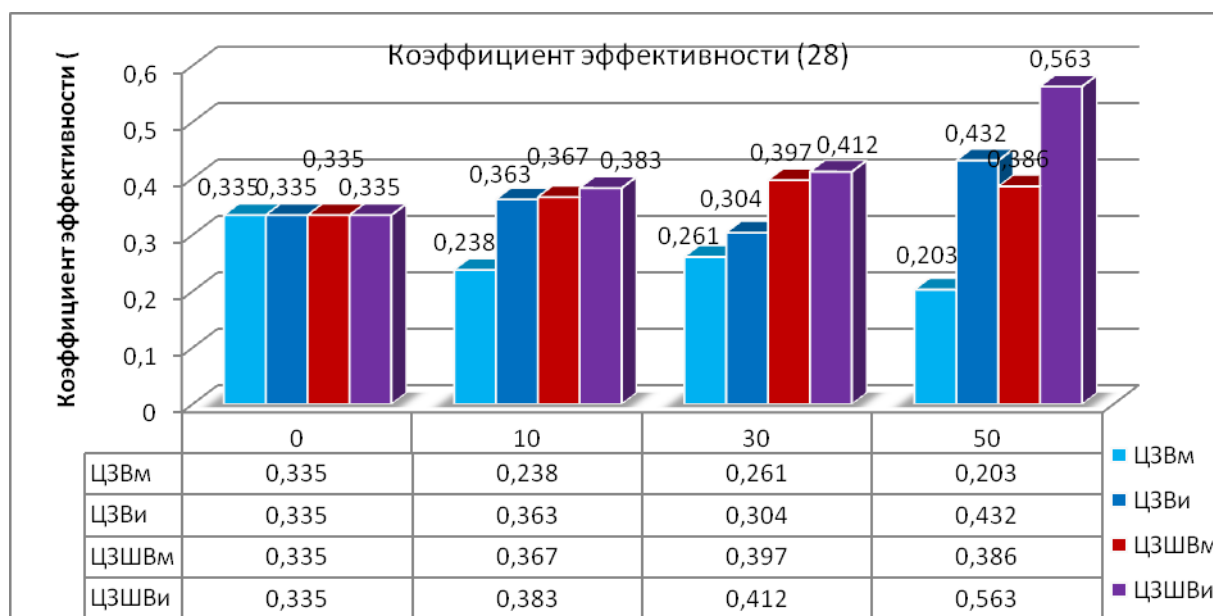


Рисунок 3 - Коэффициент эффективности ( $K_{эф}$ ) использования цемента в вяжущих после 28 суток твердения: ЦЗВ<sub>м</sub>, ЦЗВ<sub>и</sub>, ЦЗШВ<sub>м</sub>, ЦЗШВ<sub>и</sub>

Одно из направлений переработки ЗШО в строительном материаловедении – получение легких заполнителей и бетонов на их основе. Учитывая, что запасы исследуемых топливных шлаков весьма значительны, изучены основные физико-механические характеристики заполнителя из золошлаковой смеси и дробленого шлака. Испытания показали, что заполнители из ЗШО обладают стойкостью к силикатному и железистому распаду. Для мелких фракций (0-5мм) водопотребность 4,83...12,3 и прочность 1,64 -0,38 МПа; для фракций (5-10мм) водопотребность 9,5-9,0 и прочность 1,64 -0,38 МПа у заполнителя из шлака и из ЗШО соответственно.

**Четвертая глава «Разработка составов мелкозернистого бетона на композиционных вяжущих и заполнителях с использованием топливных**

**отходов»** посвящена разработке мелкозернистых бетонов на основе композиционных вяжущих веществ и мелком заполнителе из ЗШО.

Предварительные исследования показали эффективность совместного помола цемента и зольных отходов при разной концентрации 10, 30, 50%. Поэтому дальнейшие исследования по разработке составов МЗБ проводилось на активированных композиционных вяжущих с ЗШО.

Физико-механические характеристики МЗБ на основе вяжущих (ЦЗВ<sub>и</sub>) и (ЦЗШВ<sub>и</sub>) предварительно рассматривались на 7 составах при различном соотношении к мелкому заполнителю (песок, шлак) разных фракций. Мелкий заполнитель из топливного шлака предварительно подвергался дроблению и разделялся на фракции 5-10 мм и 0-5 мм. Вяжущие в виде смеси цемента с наполнителем из золы гидроудаления или золошлаковой смеси подвергались помолу в течение 1 часа.

В исследованиях подбираем 7 составов с различными соотношениями композиционного вяжущего и шлака.

Мелкозернистые бетоны на ЦЗВ<sub>и</sub> и ЦЗШВ<sub>и</sub> испытывались на осевое сжатие после ТВО и 28 суток нормального твердения. Соответственно фиксировалась плотность, В/Ц и подвижность смеси.

На рисунке 4 указана зависимость прочности МЗБ на вяжущем ЦЗВ<sub>и</sub> разной степени наполненности и шлаковом заполнителе семи составов. Видно, что наибольшей прочностью обладают образцы составов 1, 2, 6 и 7 с содержанием наполнителя 10% после 28 суток  $R_{сж}^{28} = 20,8; 21,2; 26,2; \text{ и } 21,6$  соответственно. Высокий показатель прочности 26,2 установлен у состава МЗБ № 6, при 30, 50% наполнителя  $R_{сж}^{28} = 23,4 \text{ и } 18,64$  МПа. А у составов № 1, 2 и 7  $R_{сж}^{28} = 17,7; 16,8 \text{ и } 14,4$  МПа (30% наполнитель). И  $R_{сж}^{28} = 15,7; 16,2 \text{ и } 10,2$  МПа (50% наполнитель).

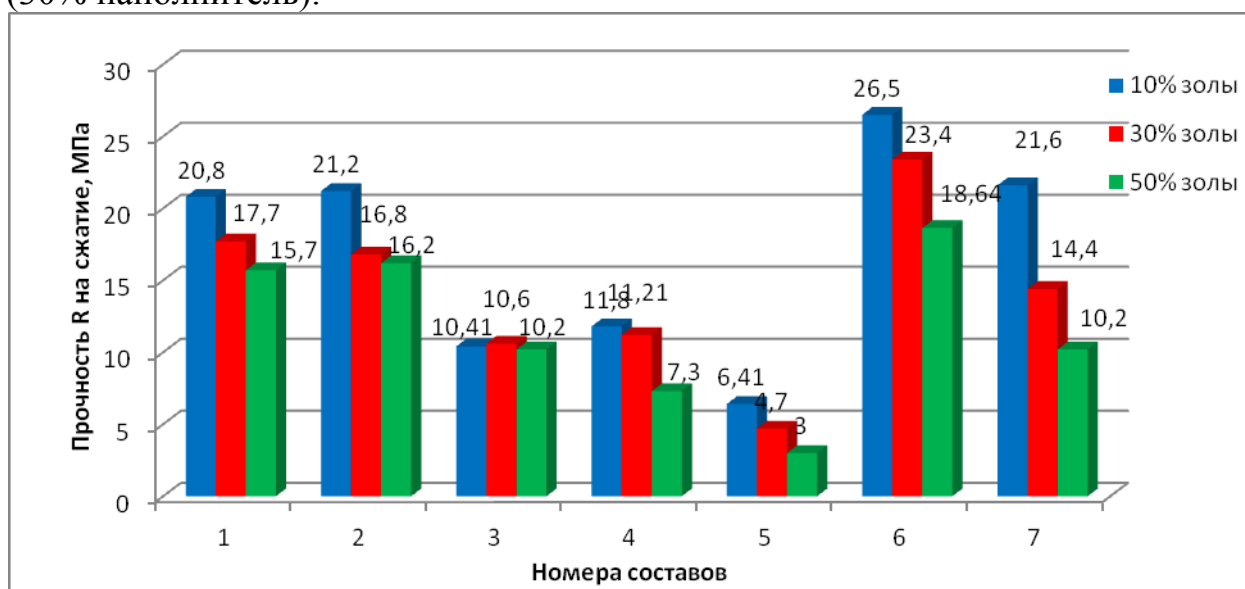


Рисунок 4 - Прочность 28 суток МЗБ на ЦЗВ<sub>и</sub> и заполнителя из топливного шлака

Следует отметить, что после тепловлажностной обработки (ТВО) МЗБ (ЦЗВ<sub>и</sub> с золой 10%) состава № 6 показал наибольшие показатели прочности у

$R_{сж}^{ТВО} = 24,3$  МПа и для состава № 7  $R_{сж}^{ТВО} = 20,3$  МПа. Далее состав № 1 обеспечивает  $R_{сж}^{ТВО} = 16,2$  МПа и для состава № 2  $R_{сж}^{ТВО} = 14,75$  МПа, здесь в качестве заполнителя использовался грубый шлак (5-10 мм). Плотность МЗБ на шлаковом заполнителе ниже плотности образцов на природных песках.

Анализ (рис.5) физико-механических свойств МЗБ на вяжущем ЦЗШВ<sub>и</sub> с содержанием ЗШС 10; 30 и 50% можно отметить, что наибольшее значение прочности по ранжиру наблюдается у составов №1, №6 и № 2, отличающиеся различием в составе и количестве мелкого заполнителя.

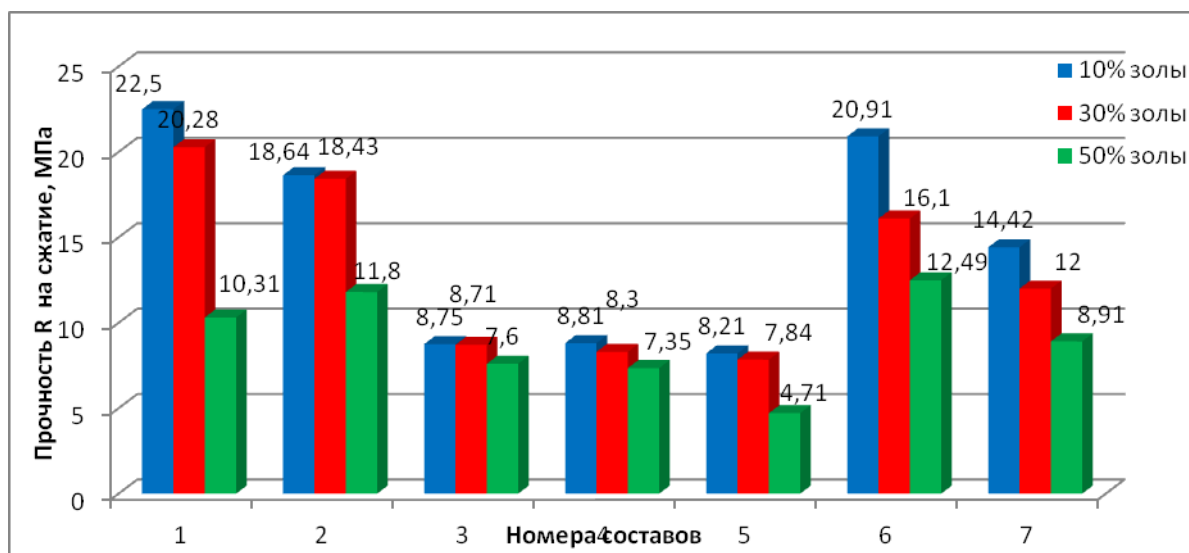


Рисунок 5 - Прочность МЗБ на ЦЗШВ после 28 суток твердения

Для состава (6) на вяжущих с содержанием ЗШС 10; 30; 50% подвижность смесей составляет 4; 4; 3 см и показатели В/Ц – 0,62; 0,61 и 0,6 соответственно. Прочность образцов МЗБ после ТВО  $R_{сж}^{ТВО}$  снижается от 19,69 до 10,49 МПа, т.е. в 2 раза при максимальном содержании в вяжущем ЗШС 50%. Такая же зависимость наблюдается при испытании образцов после 28 суток твердения –  $R_{сж}^{28}$  от 20,91 до 12,49, снижается на 40 %.

На основании результатов предварительных исследований для оптимизации составов МЗБ был реализован двухфакторный эксперимент. В качестве варьируемых факторов выбраны:  $X_1$  – количество золы ГУ в ЦЗВ<sub>и</sub> ( $30 \pm 20$ ), %;  $X_2$  – соотношение между ЦЗВ<sub>и</sub> и мелким заполнителем из шлака (0-5-10), мм. Параметрами качества служили: плотность МЗБ –  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>; прочность после ТВО –  $R_{сж}^{ТВО}$ , МПа; прочность 28 суток –  $R_{сж}^{28}$ , МПа.

По результатам эксперимента были получены ЭС-модели второго порядка (16-18) свойств МЗБ и их графические образы в виде номограмм.

$$\rho = 1838 - 26,7 x_1 - 6,7 x_1^2 - 46,7 x_2 + 13,3 x_2^2 + 5,0 x_1 x_2 \quad (16)$$

$$R_{сж}^{ТВО} = 13,85 - 5,02 x_1 + 2,93 x_1^2 - 0,41 x_2 - 3,13 x_2^2 - 2,31 x_1 x_2 \quad (17)$$

$$R_{сж}^{28} = 22,28 - 4,04 x_1 + 0,86 x_1^2 - 1,33 x_2 - 6,11 x_2^2 - 1,6 x_1 x_2 \quad (18)$$

По модели (16) можно утверждать, что плотность МЗБ снижается от количества золы ГУ в вяжущем и зависит от соотношения ЦЗВ<sub>и</sub>:Ш, здесь линейные эффекты при  $x_1, x_2$  составляют ( $b_1 = -26,7$  и  $b_2 = -46,7$ ).

На рисунке 6 видно, что прочность МЗБ после ТВО зависит от количества наполнителя в вяжущем ЦЗВ<sub>и</sub>. Для МЗБ с соотношением 1:2 (5-10 мм) прочность снижается от 17 МПа (10 % ЗГУ) до 12 МПа (50 %), при чем прочность остается стабильной при 30-50 % наполнителя в ЦЗВ<sub>и</sub>.

При соотношении 1:2 (0-5-10 мм) прочность после ТВО снижается от 20 до 14 МПа (зола ГУ-10-30 %), и далее меняется незначительно от 14 до 12 МПа. При соотношении 1:3 (0-5-10 мм) у МЗБ резко падает прочность  $R_{сж}^{ТВО}$  от 20 МПа до 6 МПа, что связано с меньшим содержанием в нем вяжущего.

На рисунке 6 показано, что прочность МЗБ после 28 суток твердения в первом случае снижается от 20 МПа до 15 МПа. Во втором случае, при соотношении 1:2 (0-5-10 мм) падает от 26 МПа до 18 МПа. В случае, когда соотношение 1:3 (0-5-10 мм)  $R_{сж}^{28}$  резко снижается по мере увеличения наполнителя в ЦЗВ<sub>и</sub> с 22 МПа до 12 МПа, т.е. почти в 2 раза.

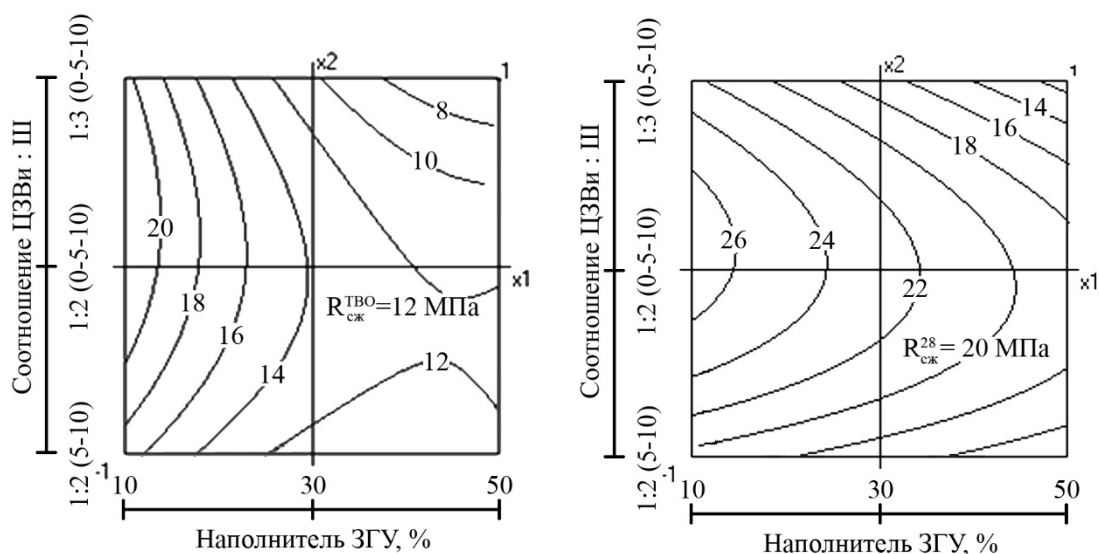


Рисунок 6 - Номограмма прочности после ТВО и 28 суток МЗБ на ЦЗВ<sub>и</sub>

Установлено, что плотность и прочность МЗБ снижается по мере увеличения наполнителя из золы гидроудаления в композиционном вяжущем ЦЗВ<sub>и</sub> и наибольшие показатели прочности  $R_{сж}^{28} = 26 \text{ МПа}$  установлены для состава МЗБ 1:2(0-5-10 мм), где плотность составляет  $1860 \text{ кг/м}^3$ , а количество наполнителя в вяжущем может находиться в пределах 10 – 15.

Оптимизация состава МЗБ на вяжущем ЦЗШВ<sub>и</sub> ЭС-модели (19-21) свойств МЗБ и их графические образы в виде номограмм.

$$\rho = 1823 - 50,0 x_1 - 0,0 x_1^2 - 8,3 x_2 - 35 x_2^2 + 42,5 x_1 x_2 \quad (19)$$

$$R_{сж}^{ТВО} = 13,92 - 2,83 x_1 + 0,853 x_1^2 - 0,48 x_2 - 3,44 x_2^2 - 0,99 x_1 x_2 \quad (20)$$

$$R_{сж}^{28} = 17,15 - 3,46 x_1 - 0,98 x_1^2 - 2,26 x_2 - 2,47 x_2^2 - 0,33 x_1 x_2 \quad (21)$$

Анализ влияния каждого фактора на плотность и прочностные свойства МЗБ показал, что оба фактора снижают плотность бетона при верхних уровнях ( $x_1, x_2 = 1$ ). Линейные коэффициенты составляют ( $b_1 = -50,0$  и  $b_2 = -8,3$ ) и наибольшее влияние оказывает второй фактор.

На рисунке 7 видно, что МЗБ при соотношении 1:2 (5-10 мм) теряет прочность от 16 МПа (10 % ЗГУ) до 12 МПа (50 %) и остается стабильной при 30-50 % наполнителя в вяжущем ЦЗШВи.

При соотношении 1:2 (0-5-10 мм) прочность после ТВО  $R_{сж}^{ТВО}$  снижается от 20 МПа до 12 МПа на вяжущем с наполнителем 10-30 %, а затем прочность изменяется незначительно. Для МЗБ с соотношении 1:3 (0-5-10 мм)  $R_{сж}^{ТВО}$  МЗБ резко падает с 20 МПа до 8 МПа, что связано с меньшим содержанием вяжущего ЦЗШВи.

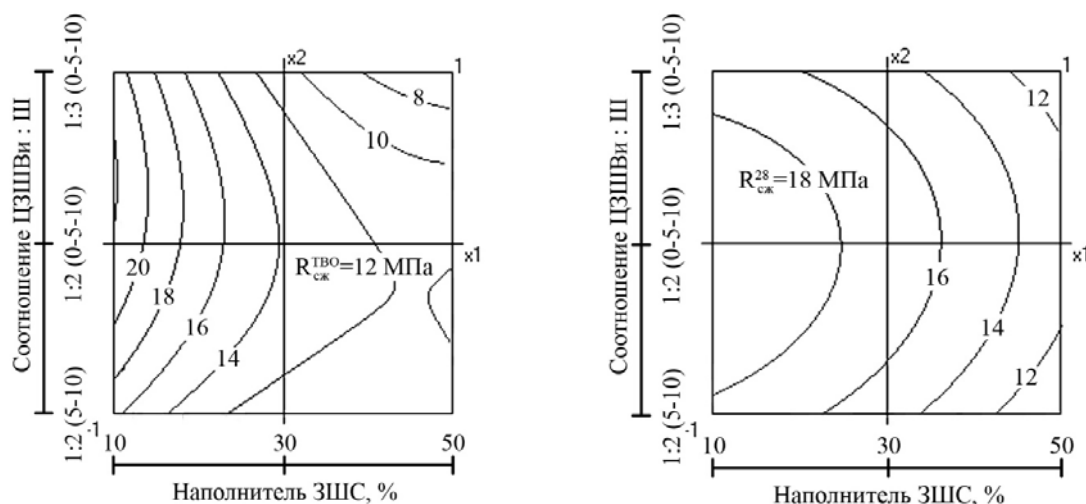


Рисунок 7 - Номограмма прочности после ТВО и 28 суток МЗБ на ЦЗШВи

На рисунке 7 видно, что прочность МЗБ  $R_{сж}^{ТВО}$  в первом случае снижается от 18 МПа до 10 МПа. Во втором случае, при соотношении 1:2 (0-5-10 мм)  $R_{сж}^{28}$  падает от 18 МПа до 14 МПа. В случае, когда соотношение 1:3 (0-5-10 мм)  $R_{сж}^{28}$  резко снижается по мере увеличения наполнителя в ЦЗШВи с 20 МПа до 12 МПа. Наибольшие показатели прочности МЗБ  $R_{сж}^{28} = 20,9$  МПа установлены для состава с ЗШС 10% и при соотношении ЦЗШВи, ЦЗШВи к заполнителю 1:2 (0-5-10 мм), где плотность колеблется 1820-1850 кг/м<sup>3</sup>. При ТВО пуццоланический эффект добавки 10% ЗШС проявляется сильнее в условиях ТВО. На одинаковых составах  $R_{сж}^{ТВО} = 22$  МПа >  $R_{сж}^{28} = 18$  МПа.

Результаты исследований основных свойств МЗБ показали возможность использования в качестве, вяжущего различных композиций цемента с наполнителями из золы гидроудаления и золошлаковой смеси. Мелким заполнителем для МЗБ может служить плотный топливный шлак или комбинированный из плотного шлака в сочетании с природным песком.

Бетон на золоцементном вяжущем в естественных условиях в первые сроки твердеет медленнее, чем бетон на цементе. С течением времени прирост прочности бетона с добавкой золы интенсифицируется и по истечении 28сут по прочности бетон с золой в первые сроки после ТВО несколько ниже, чем бетон на цементе. Однако в дальнейшем возрастет пропаренный бетон, изготовленный с золой, имеет большую прочность, чем без добавки. Пропаренный бетон, после ТВО имеет не менее 80% проектной прочности, через месяц приобретает проектную прочность. Теплопроводность тяжелого бетона в воздушно – сухом



состоянии 1,2 Вт/ м×К, т.е. в 2-4 раза больше, чем у МЗБ, полученного на основе шлака и золосодержащих цементов.

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований установлено, что плотность и прочность МЗБ снижается по мере увеличения наполнителя из ЗШС или золы ГУ в композиционных вяжущих веществах.

В таблице 1 представлены оптимальные составы МЗБ на композиционных вяжущих (ЦЗВ<sub>и</sub>, ЦЗШВ<sub>и</sub>) с наполнителями 10, 30 и 50%.

Таблица 1 – Составы МЗБ на композиционных вяжущих на 1 м<sup>3</sup>

№ состава	Вид вяжущего	Марка/класс бетона	Плотность МЗБ (ρ), кг/м <sup>3</sup>	Содержание ПЦ, м <sup>3</sup>	Содержание наполнителя, м <sup>3</sup> , (%)	количество заполнителя - шлак, м <sup>3</sup>
2	<b>МЗБ на композиционном вяжущем: Ш (шлак фр. 5-10мм) = 1:2</b>					
	ЦЗШВ <sub>и</sub>	200 (B15)	1820	0,297	0,033(10)	0,67
		150 (B10)	1780	0,23	0,10(30)	0,67
		100 (B7,5)	1730	0,16	0,17(50)	0,67
	ЦЗВ <sub>и</sub>	200 (B15)	1840	0,3	0,03 (10)	0,67
		150 (B10)	1780	0,2	0,1 (30)	0,67
		100 (B7,5)	1760	0,15	0,15(50)	0,66
6	<b>МЗБ на композиционном вяжущем: Ш (шлак фр. 0-5, 5-10мм)- 1:2</b>					
	ЦЗШВ <sub>и</sub>	200 (B15)	1850	0,3	0,03(10)	0,67
		150 (B10)	1810	0,23	0,10(30)	0,67
		100 (B7,5)	1790	0,16	0,17(50)	0,67
	ЦЗВ <sub>и</sub>	250 (B20)	1880	0,30	0,03(10)	0,67
		200 (B15)	1840	0,23	0,1(30)	0,67
		150 (B10)	1820	0,20	0,13(40)	0,67
		100 (B7,5)	1800	0,16	0,16(50)	0,67
7	<b>МЗБ на композиционном вяжущем: Ш (шлак фр. 0-5, 5-10мм) = 1:3</b>					
	ЦЗШВ <sub>и</sub>	150 (B10)	1810	0,175	0,075(30)	0,75
		100(B 7,5)	1750	0,125	0,125(50)	0,75
	ЦЗВ <sub>и</sub>	200 (B15)	1860	0,2	0,05(20)	0,75
		150 (B10)	1830	0,163	0,09 (35)	0,75
		100(B 7,5)	1820	0,225	0,025 (50)	0,75

В пятой главе «Разработка технологии и технико-экономические характеристики производства цементозолошлаковых, цементнозольных вяжущих веществ и изделий на их основе» приведены технологические схемы производства композиционных вяжущих веществ и изделий на их основы. Как было показали исследования, (гл.3) композиционные вяжущие с

использованием золы гидроудаления и золошлаковой смеси в оптимальном количестве по основным свойствам не уступают традиционным цементам и могут использоваться в производстве бетонов и изделий для гражданского и промышленного строительства. При получении композиционных вяжущих веществ золошлаковые отходы в определенном количестве после соответствующей подготовки (дробление, сушка, просев и т.п.) могут смешиваться с цементом в бетономешалках либо предварительно подвергаться диспергации, т.е. активации в помольных агрегатах различного типа.

Для получения композиционного вяжущего ЦЗШВ при использовании золошлаковой смеси, образующейся в топках котлоагрегатов с твердым шлакоудалением, предусматривается механическое отделение дроблением крупных спекшихся кусков шлака, их классификация для отделения мелких фракций менее 2,5 мм и дальнейший совместный помол с цементом. Отличительной особенностью технологии приготовления цементозолошлакового вяжущего (ЦЗШВ) отличается отсутствием необходимости в предварительной сушке золошлакового отхода.

Технологическая схема состоит из следующих операций (рис. 8). Поставка золошлаковой смеси может осуществляться автосамосвалами на промежуточный склад сырья предприятия (1). Через приемный бункер (2) ленточным транспортером (3) ЗШС подается на дробление в щековую дробилку (4). Далее по ленточному транспортеру (5) через приемный бункер (6) с встроенным дозатором ЗШС поступает на грохот для отделения крупных фракции  $\geq 5$  мм (7).

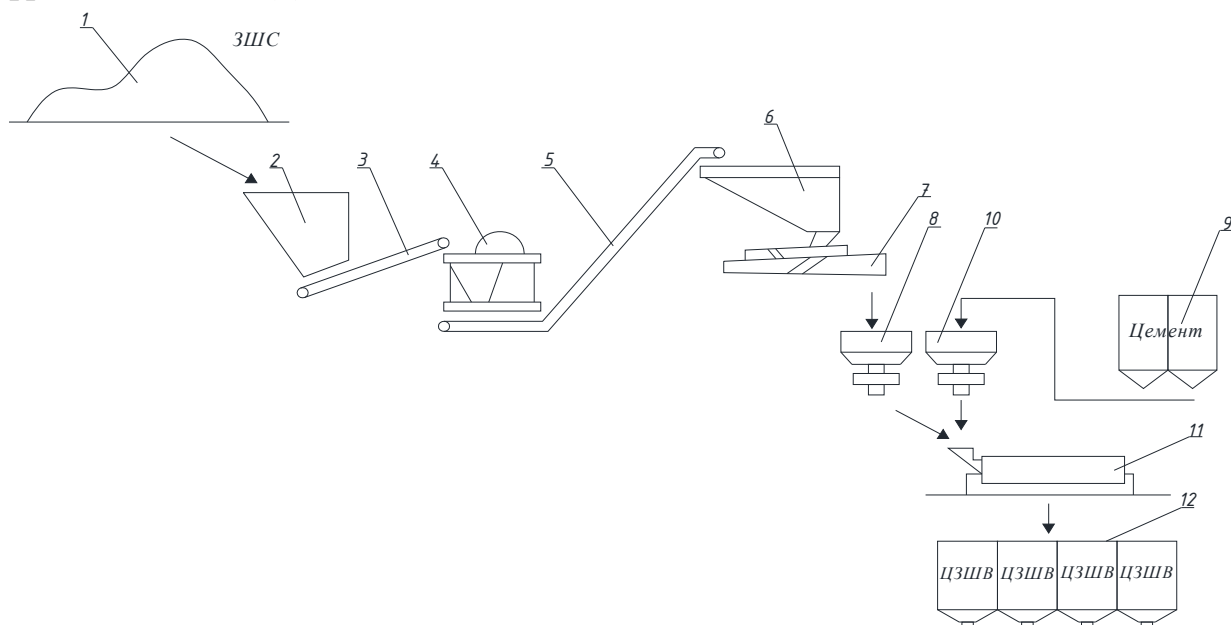


Рисунок 8 - Технологическая схема производства цементозолошлаковых вяжущих веществ: 1-ЗШС; 2,6 - приемный бункер; 3,5 - ленточный транспортер; 4 - Щековая дробилка; 7 - грохот; 8, 10 - бункер с питателем для цемента и золошлаковой смеси; 9 - силосы для цемента; 11 - шаровая мельница; 12 - силосы для золошлакоцементных композиционных вяжущих веществ (ЦЗШВ).

Мелкие фракции ЗШС через бункер питатель (8) в определенной дозировке поступают в шаровую мельницу (11) для дальнейшего измельчения с цементом, поступающего также через бункер-питатель (10). Из шаровой мельницы композиционное вяжущее подается в силос-слад (12) для дальнейшего хранения и упаковки.

Производство стеновых блоков из ЗШО может быть организовано непосредственно на территории золоотвалов или встроено в действующий комплекс предприятий по выпуску бетонных изделий и состоит из нескольких этапов: 1- этап приготовления композиционного вяжущего вещества; 2- этап приготовления бетонной смеси; 3- этап формирования стеновых блоков.

Технологическая схема производства цементнозольного композиционного вяжущего (ЦЗВ), отличается от технологии приготовления ЦЗШВ наличием сушильного барабана, предназначенного для предварительной сушки золы-гидроудаления до влажности 1-0,5 %.

В условиях ЗАО «Кум-Шагыл» получены композиционные вяжущие вещества с наполнителем из золы гидроудаления и золошлаковой смеси и апробированы на бетонах класса В 15 (М200) и В 7,5 (М 100).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Комплексный анализ показал, что по содержанию основных оксидов золошлаковая смесь и зола гидроудаления равнозначны и по содержанию кремнезема  $\text{SiO}_2$  – 52,09 и 52,0 % и модулю основности  $M_o$ - 0,14 и 0,11 относятся к кислым.

2. Золошлаковая смесь представляет собой полидисперсную смесь фракций: 5-20мм - 49,4 %; золошлакового песка 0,16-5 мм - 40,6 % и зольная пыль с частицами < 0,16 мм - 9,9 %.

3. Зола ГУ в основном состоит из тонкодисперсных частиц: 0,16-0,63 мм – 10,3 %; фракции 0,08-мм – 53,1 %; фракции менее 0,05 мм – 55,8 %. Отмечена ее легкая размалываемость, где при помоле 0,5 часа зола ГУ достигает дисперсности цемента  $310 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; в течении 1 часа  $360 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; за 1,5 часа помола дисперсность составила  $380 \text{ м}^2/\text{кг}$  и через 3 часа дисперсность остается в пределах  $390 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

4. Установлено, что при активации ЦЗВ<sub>и</sub> с золой ГУ 10 % (1,5...2 ч) прочность достигает  $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 37,0 \text{ МПа}$ ,  $R^{28}_{\text{изг}} = 5,9 \text{ МПа}$  и превышает прочность исходного цементного камня. Равнозначная прочность исходному цементу  $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 33,0 \text{ МПа}$  при содержании золы ГУ должно быть 15...22 % и время измельчения 1,0...1,5 часа.

5. Установлено, что при помоле 10% добавки ЗШС с цементом обеспечивается вяжущему ЦЗШВ<sub>и</sub> максимальная прочность  $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 38 \text{ МПа}$ , превышающей прочность исходного цемента на 13 %. Равнозначная прочность цементу  $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 33 \text{ МПа}$  обеспечивается при помоле 0,5...2 часа.

6. Установлено, что использование цементнозольных или цементнозолошлаковых вяжущих (10-50%) и топливных шлаков фракций 0-5 и 5-10 мм позволяет получать мелкозернистые бетоны классов В 7,5-В20.

7. Экономический эффект от выпуска ЦЗВ<sub>и</sub> (зола ГУ 30%) 10000т в год составит 3422300 сом; экономический эффект выпуска (ЗШС 20 %) 10000т в год составит 3836970 сом; экономический эффект при выпуске 10000 тонн бетона В-15 (М200) составит 2490000 сом; экономический эффект при изготовлении 10000 штук условного стенового блока из мелкозернистого бетона В-15 (М200) экономическая эффективность составит 29600 сом.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Джусупова, М.А. Особенности получения композиционного цементнозоляного вяжущего [Текст] / М.А. Джусупова, **С.Т. Кульшикова** // В сборнике: The Europe and the Turkic World: Science, Engineering and Technology Materials of the II international scientific-practical conference. Intwovolumes. Editorby S. Midelski. – Измир, 2017. – С. 175-181. [https://drive.google.com/file/d/0B\\_W2hkSE3iXrZDZLbjVMNEdEVkU/view?userstoinvite=skulsikova@gmail.com&ts=64390fc4&actionButton=1&resourcekey=0-SrNhrUT24a-0SoOxuxjVzQ](https://drive.google.com/file/d/0B_W2hkSE3iXrZDZLbjVMNEdEVkU/view?userstoinvite=skulsikova@gmail.com&ts=64390fc4&actionButton=1&resourcekey=0-SrNhrUT24a-0SoOxuxjVzQ)

2. Джусупова, М.А. Композиционные вяжущие с использованием топливных шлаков [Текст] / М.А. Джусупова, **С.Т. Кульшикова** // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Научные исследования в деталях». – Шымкент: 2017. – С. 10-17.

3. Джусупова, М.А. Композиционные вяжущие на основе отходов [Текст] / М.А. Джусупова, **С.Т. Кульшикова** // Актуальная наука. – Волгоград: 2017. – №5 (5). – С. 10-15. [https://e64f9e97-223d-468f-a5fd-e095d169621a.filesusr.com/ugd/c22b2f\\_3ee3fa239cec4189a530101ee42a785e.pdf](https://e64f9e97-223d-468f-a5fd-e095d169621a.filesusr.com/ugd/c22b2f_3ee3fa239cec4189a530101ee42a785e.pdf)

4. Джусупова, М.А. Оценка влияния золошлаковой смеси на основные свойства композиционного вяжущего [Текст] / М.А. Джусупова, **С.Т. Кульшикова** // – Волгоград: 2018. – №56. – С. 25-29.

5. **Кульшикова, С.Т.** Оптимизация рецептурно-технологических факторов вяжущего с использованием золы гидроудаления Бишкекской ТЭС республики Кыргызстан [Текст] / С.Т. Кульшикова // Актуальные вопросы науки. – Москва: 2018. – №41. – С. 188-193.

6. **Кульшикова, С.Т.** Композиционные вяжущие с использованием золошлаковых отходов [Текст] / С.Т. Кульшикова // Актуальная наука. – Волгоград: 2018. – №9 (14). – С. 9-14. [https://e64f9e97-223d-468f-a5fd-e095d169621a.filesusr.com/ugd/c22b2f\\_fb719df4b4e6417988490987096f417d.pdf](https://e64f9e97-223d-468f-a5fd-e095d169621a.filesusr.com/ugd/c22b2f_fb719df4b4e6417988490987096f417d.pdf)

7. Джусупова, М.А. Получение мелкозернистого бетона с использованием золы гидроудаления [Текст] / М.А. Джусупова, **С.Т. Кульшикова** // Вестник КГУСТА. – Бишкек: 2018. – №4(62). – С. 99-103. <https://vestnikksucta.kg/wp-content/uploads/2019/06/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%D0%9A%D0%93%D0%A3%D0%A1%D0%A2%D0%90-462-2018.pdf>

8. **Кульшикова, С.Т.** Особенности гидратации золоцементных веществ [Текст] / С.Т. Кульшикова // Сборник материалов Совместной Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы

развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективности в строительстве». – Алматы: 2018. – С. 189-193.

9. Джусупова, М.А. Мелкозернистые бетоны с использованием отходов сжигания угля [Текст] / М.А. Джусупова, **С.Т. Кульшикова** // Известия ВУЗов Кыргызстана. – Бишкек: 2018. - №6. - С. 17-21.

10. **Кульшикова, С.Т.** Эффективное использование топливных шлаков ТЭС в мелкозернистых бетонах [Текст] / С.Т. Кульшикова // Colloquium-journal ISSN 2520-6990 Architecture Technical science Physicsandmathematics. – Варшава, 2019. - №2 (26). - С.33-35. <https://colloquium-journal.org/wp-content/uploads/2022/05/Colloquium-journal-2019-26-1.pdf>

11. Джусупова, М.А. Мелкозернистые бетоны на вяжущих и заполнителях из золошлаковых отходов [Текст] / М.А. Джусупова, **С.Т. Кульшикова** // Вестник КГУСТА. - Бишкек: 2019. - №1 (63). - С. 150-155. <https://vestnikksucta.kg/wp-content/uploads/2019/09/%D0%92%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%D0%9A%D0%93%D0%A3%D0%A1%D0%A2%D0%90-1-63-2019.pdf>

12. Джусупова, М.А. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и заполнителях из золо-шлаковых отходов теплоэнергетики [Текст] / М.А. Джусупова, **С.Т. Кульшикова**, А.Ф. Кудашева // Materials of the IV International Scientific-Practical Cnferenca. - Istanbul, 2019. - С. 302-307. <https://drive.google.com/file/d/1KYppUczZ0gQJB70aDEVQBkzxaFTxIbXd/view>

13. Ассакунова, Б.Т. Использование отходов теплоэнергетики Кыргызстана в композиционных вяжущих веществах [Текст] / Б.Т. Ассакунова, М.А. Джусупова, Г.Р. Байменова, **С.Т. Кульшикова** // ИЗВЕСТИЯ Национальной академии наук Республики Казахстан. – Алматы: 2019. - 3(435). - С. 67-72.

14. Джусупова, М.А. Оценка эффективности утилизации топливных отходов в производстве композиционных вяжущих веществ [Текст] / М.А. Джусупова, **С.Т. Кульшикова** // «Membership in the WTO: Prospects of Scientific Researches and International Technology Market» Materials of the IV International Scientific-Practical Conference. - Vancouver, 2019. - С. 396-402. <https://drive.google.com/file/d/1MqVSAMsuqUArKcmk68befA8oweiF0HRG/view>

15. Джусупова, М.А. Облегченные мелкозернистые бетоны из топливных отходов Бишкекской ТЭЦ [Текст] / М.А. Джусупова, **С.Т. Кульшикова** // Материалы международного семинара, посвященное 85-летию В.А. Вознесенского «Моделирование и оптимизация строительных композитов». – Одесса: 2019. - С. 40-45.

**05.23.05 - курулуш материалдары жана буюмдары адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын алуу үчүн «Күл-шлак калдыктарын пайдалануу менен алынган майда бүртүк бетондун жана композициялык чапташтыргычтын рецептурасын жана касиеттерин оптималдаштыруу» темасындагы Сауле Туюкбайевна Кульшикованын диссертациялык эмгегине**

### **КОРУТУНДУ**

**Түйүндүү сөздөр:** цемент, композит чапташтыргыч зат, үлүштүк тегиздик, гидратация, пуццолан (чаңдык) касиеттери, отко какталган шлак, майда бүртүк бетон, таш көмүрдүн күлү (золоудаления - таш көмүрдү жакканда чыккан майда бүртүк, чаң сымал борпоң күл), күл шлак аралашмасы, от жаккандан калган күл калдыгы, гидравликалык активдүүлүк, майда бүртүк бетон.

**Изилдөөнүн объектиси:** композит чапташтыргыч заттар жана майда бүртүк бетон.

**Изилдөөнүн предмети:** портландцемент, таш көмүрдүн күлү (золоудаления - таш көмүрдү жакканда чыккан майда бүртүк чаң сымал борпоң күл), жана күл шлак аралашмасы, отко какталган шлак.

**Изилдөөнүн максаты:** күл-шлак калдыктарын пайдалануу менен композит чапташтыргыч заттын жана майда бүртүк бетондун курамын жана технологиясын иштеп чыгуу.

**Изилдөөнүн методдору:** физикалык-химиялык изилдөөлөрдө электрондук микроскопияны, анализдөөнүн рентген фазалык жана дифференциялык-термикалык ыкмалары колдонулду. Отко какталбаган гипс чапташтыргыч менен майда бүртүктүү бетонду (МЗБ–МББ) эксперименттик изилдөө эксперименттик-статикалык моделдөө ыкмасы менен жүргүзүлдү.

**Алынган натыйжалар жана алардын жаңылыгы:** композит чапташтыргыч заттардын негизги физикалык-химиялык, структуралык мүнөздөмөлөрүнө күл-шлак калдыктарынын түрлөрү менен өлчөмү, аралаштыруу ыкмасы, активдешүү мөөнөтү таасир этээри аныкталды; эксперименттик-статистикалык ыкма менен анализ жүргүзүлдү жана композит чапташтыргыч заттын негизги касиеттерине активдешүү мөөнөтү менен толтургуч чан сымал күлдүн пайыздык үлүшүнүн өз ара байланышы таасир этери аныкталды;- композит чапташтыргыч затка портландцементти кошуунун натыйжалуулугу күл-шлак калдыктары менен толтурууга жана анын катышынын (твердения) шарттарына көз карандылыгы аныкталды; В7,5 - В20,5 классындагы жеңилдетилген майда бүртүктүү бетондун оптималдуу курамы аныкталды. Бул курамга композит цемент чапташтыргыч заттар менен күл-шлак аралашмасынан турган толтургучтар кирди.

**Колдонуу даражасы:** «Кум-Шагыл» жабык акционердик коомдо бул эмгектерди далилдеген актылар киргизилди. Өндүрүштүк шартта таш көмүрдүн борпоң күлү менен күл шлак аралашмасынан жасалган композит чапташтыргычтын тажрыйбалык партиясы чыгарылды.

**Колдонуу тармагы:** Курулуш индустриясы.

## **РЕЗЮМЕ**

**диссертации Кульшиковой Сауле Туюкбайевны на тему: «Оптимизация рецептуры и свойств композиционных вяжущих веществ и мелкозернистых бетонов с использованием золошлаковых отходов» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 - строительные материалы и изделия**

**Ключевые слова:** цемент, композиционное вяжущее вещество, удельная поверхность, гидратация, пуццолановые свойства, зола гидроудаления, золошлаковая смесь, топливный шлак, гидравлическая активность, мелкозернистый бетон.

**Объекты исследования:** композиционные вяжущие вещества и мелкозернистый бетон.

**Предметы исследования:** портландцемент, зола гидроудаления, золошлаковая смесь и топливный шлак.

**Цель работы:** разработка составов и технологии получения композиционных вяжущих веществ и мелкозернистых бетонов с использованием золошлаковых отходов.

**Методы исследования:** физико-химические исследования проводились с использованием электронной микроскопии, рентгенофазового и дифференциально-термического методов анализа. Экспериментальные исследования композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонов проводились методом экспериментально-статистического моделирования.

### **Полученные результаты и их новизна:**

- выявлено, что независимо от метода отбора и хранения ЗШО они имеют равнозначный химический состав и отличаются фазовым составом, влияющий соответственно на процессы структурообразования КВВ;

- выявлено влияние способа введения, времени активации, вида и количество ЗШО на основные физико-механические свойства;

- экспериментально-статистическим методом проведен анализ и установлена взаимосвязь между временем активации и процентным содержанием наполнителя из золы ГУ или ЗШС на основные свойства КВВ;

- установлена зависимость эффективности использования портландцемента в КВВ от наполнения из ЗШО и условий твердения;

- определен оптимальный состав мелкого заполнителя из топливного шлака для бетонов на КВВ разной активности и вида наполнителя;

- получены экспериментально-статистические модели основных свойств КВВ с наполнителями из золы ГУ и ЗШС;

- разработаны оптимальные составы облегченного МЗБ классов В7,5 - В20,5 на композиционных цементных вяжущих веществах и заполнителях из ЗШО.

**Степень использования.** Имеются акты внедрения в ЗАО «Кум-Шагыл». В производственных условиях выпущена опытная партия композиционных вяжущих из золы гидроудаления и золошлаковой смеси, которая использовалась при выпуске мелкозернистого бетона и стеновых блоков из него.

**Область применения.** Строительная индустрия.

## SUMMARY

**of the dissertation of Kulshikova Saule's on the topic: " Optimization of the composition and properties of composite binders and fine concrete using ash and slag waste " for the degree of candidate of technical sciences by specialty 05.23.05 - building materials and products**

**Keywords:** cement, composite binder specific surface, hydration, pozzolanic properties, hydraulic ash, ash and slag mixture, fuel slag, , fine-grained concrete.

**Object of the study:** composite binders and fine concrete.

**The subject of the study:** Portland cement, hydraulic ash, ash and slag mix and fuel slag.

**Objective of research:** development of compositions and technology for the production of composite binders and fine concrete using ash and slag waste.

**Methods of research:** Physico-chemical studies were carried out using scanning electron microscopy, ray phase and differential thermal analysis methods. The implementation and analysis of the results of experimental studies of composite binders and fine concrete was carried out through experimental statistical modeling.

**The results obtained and their novelty:**

- it was found that regardless of the method of ash and slag waste selection and storage, they have the same chemical composition, but differ in phase composition, respectively affecting the structure formation processes of the composite binder;

- regularities of the influence of the method of administration, activation time, type and amount of ash and slag waste on the main physicommechanical, structural characteristics of the composite binder are revealed;

- the dependence of the efficiency of using Portland cement in composite binders on filling with ash and slag waste and hardening conditions has been established;

- the optimal particle size distribution of the fine aggregate of fuel slag for concrete was established on composite binders of different activity and type of filler;

- experimental-statistical models of the basic properties of a composite binder with fillers from hydraulic ash and ash-slag mixture were obtained;

- optimal compositions of lightweight fine-grained concrete of classes B7.5 - B20.5 on composite cementitious binders and aggregates from ash and slag waste with a set of required performance characteristics have been developed.

**Degree of use:**

Based on the analysis of the properties research results, CCB and fine-grained concrete of classes B7.5 - B20 (M100-250) have been proposed and developed in terms of the required physical and mechanical characteristics that are not inferior to similar concrete with cement binders.

**Application area:** Construction industry.



**Кульшикова Сауле Туюкбайевна**

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРЫ И СВОЙСТВ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ И  
МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ТОПЛИВНЫХ ОТХОДОВ**

Специальность: 05.23.05 - строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Редактор: А.Б.Аманкулова

Подписано в печать 26.04.2023г.

Формат 60x84 1/16. Объем 1,25 уч.-изд.л.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Тираж 100 экз. Заказ 55

---

720020, г. Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б  
Кыргызский государственный технический университет  
им. И. Раззакова