

**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)

**Джусупова Махават Абдысадыковна**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ И ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ  
МЕСТНОГО ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

05.23.05 – строительные материалы и изделия

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

**Бишкек – 2025**

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

**Научный консультант:** д.т.н., профессор Абдыкалыков А.А.  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры производство и  
экспертиза строительных материалов,  
изделий и конструкций Кыргызского  
государственного технического  
университета  
им. И. Раззакова

**Официальные оппоненты:** \_\_\_\_\_  
доктор технических наук, профессор,  
\_\_\_\_\_  
кандидат технических наук, доцент,

**Ведущая организация:** \_\_\_\_\_  
Адрес: \_\_\_\_\_

Защита диссертации состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 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, Большой актовъй зал, [www.kstu.kg](http://www.kstu.kg), тел: 0(312) 543561, факс: 0(312) **545162**.  
Ссылка для доступа к видеоконференции защиты диссертации:

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 Национальной аттестационной комиссии при Президенте Кыргызской Республики:

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.

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



Маданбеков Н. Ж.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** В Национальной программе развития Кыргызской Республики до 2026 года особое внимание уделяется вопросам использования вторичных отходов, минимизации их образования, безопасной переработки и утилизации. Развитие экологически ориентированного бизнеса, внедрение ресурсосберегающих и малоотходных технологий признаны ключевыми для создания благоприятной окружающей среды.

Строительная отрасль, являясь одним из крупнейших потребителей природных ресурсов, требует разработки стратегий их рационального использования. Это позволит снизить антропогенную нагрузку на экосистемы и повысить эффективность ресурсопотребления.

Золошлаковые отходы (ЗШО), образующиеся в топливно-энергетической промышленности, относятся к наиболее массовым техногенным отходам. В Кыргызстане высокая ресурсоемкость экономики обусловлена устаревшим оборудованием и низким уровнем технологического развития, что приводит к значительным потерям сырья, несмотря на его сходство с природными материалами. Использование ЗШО в строительных технологиях позволяет покрыть до 40% потребности в сырье и снизить затраты на производство материалов на 10–30%.

Золошлаковые отходы и зола рисовой шелухи (ЗРШ) обладают выраженными пуццолановыми свойствами и низкой стоимостью, что делает их перспективными компонентами для композиционных цементных вяжущих. Их применение способствует реализации принципов устойчивого развития, снижению техногенной нагрузки и повышению эффективности строительной отрасли.

Зола рисовой шелухи (ЗРШ) выделяется как одна из наиболее эффективных активных минеральных добавок. Она содержит высокое количество аморфного диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), который активно участвует в гидратации цемента, способствуя образованию прочных гидросиликатов кальция (CSH-гелей). Высокая дисперсность частиц ЗРШ позволяет заполнять микропоры, улучшая плотность цементной матрицы, что снижает пористость и повышает прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и долговечность материалов.

Использование золошлаковых отходов и ЗРШ также снижает потребление цемента, производство которого сопровождается значительными выбросами  $\text{CO}_2$  (0,97 т на 1 т клинкера). Замена части цемента этими добавками уменьшает экологическую нагрузку и повышает экономическую эффективность строительства, способствуя устойчивому развитию отрасли и снижению зависимости от традиционных природных ресурсов.

Вопросами использования минеральных добавок в цементных вяжущих бетонах занимались такие зарубежные ученые исследователи как В. А. Кинд, В. Н. Юнг, П. П. Будников, Ю. М. Бутт, Н. И. Федьнин, А. В. Волженский, М. М. Сычев, В. И. Соломатов, Л. И. Дворкин, В. Г. Батраков, А. Е. Шейкин, Ю.М.Баженов, В. И. Калашников и др. Отечественные ученые Савелов .И.Г., Караханиди С.Г., Абдыкалыков А.А., Ассакунова Б.Т.

Научной основой возможности применения минеральных добавок в составе цемента является теория В. Н. Юнга. Он развил концепцию цементного камня, назвав его «микробетоном», и доказал, что в затвердевшем цементном камне содержится значительное количество непрореагировавших зерен цемента. Эти зерна могут быть заменены соответствующими фракциями минеральных добавок без снижения прочности материала.

Создание новых, отвечающих требованиям времени вяжущих веществ, базируется на уже известных знаниях. Структура и свойства многокомпонентных вяжущих предопределяются выбором необходимых исходных материалов, а также их соотношением, дисперсностью и активностью. Закономерности структурообразования композиционных строительных материалов на различных структурных уровнях наиболее полно раскрываются в рамках полиструктурной теории, которая выделяет строительные композиты на определенные их типы по размерному признаку: субмикроструктура на уровне продуктов новообразований минеральных вяжущих; микроструктура на уровне цементного камня; мезоструктура – растворная часть и микроструктура на уровне крупного заполнителя.

Задача исследования заключается в правильном подборе элементов системы с учетом их свойств и вклада в общую структуру системы.

Ресурсо- и энергосбережение остается одним из приоритетных направлений развития строительной отрасли. Важной задачей остается утилизация техногенных отходов, в частности золошлаковых материалов (ЗШО), накопленных в значительных объемах на отвалах тепловых электростанций, что оказывает негативное воздействие на окружающую среду. В странах СНГ и Кыргызстане уровень переработки ЗШО составляет всего 3–10 %, тогда как в США, Германии, Китае, Польше и ряде других стран этот показатель достигает 70–100 %. Эффективное вовлечение ЗШО в производство требует дополнительных инвестиций и совершенствования нормативно-правовой базы.

В связи с вышеизложенным, исследования изложенные в диссертации посвящены изучению и систематизации техногенных отходов, разработке эффективных технологических решений, обеспечивающих максимальное вовлечение техногенных отходов в производство композиционных вяжущих веществ и бетонов при сохранении или улучшении их эксплуатационных свойств, что **является актуальной задачей.**

**Связь темы диссертации с крупными научными программами (проектами) и основными научно-исследовательскими работами:**

- Национальная стратегия устойчивого развития Кыргызской Республики на 2018–2040 годы, утвержденная Указом Президента Кыргызской Республики от 31 октября 2018 года № 221.
- Стратегия развития строительной отрасли Кыргызской Республики до 2030 года. Постановление Правительства КР от 17 января 2020 г. №14.
- Госбюджетная НИР «Вовлечение техногенных продуктов и некондиционного минерального сырья в производство сейсмостойких стеновых изделий для жилищного и гражданского строительства» 2019-2021 гг.

**Цель исследования:** Разработка научно- обоснованных подходов к утилизации золошлаковых отходов и золы рисовой шелухи в составе композиционных цементных вяжущих и мелкозернитых бетонов путем изучения их химического состава, физико-механических и структурных характеристик, а также закономерностей влияния на свойства цементных композитов.

**Постановка и концепция научной проблемы. Рабочая гипотеза.**

Принимая во внимание сложную экологическую ситуацию в крупных и малых городах республики, вопрос утилизации и рационального использования золошлаковых отходов приобретает особую актуальность. На золоотвалах теплоэлектростанций и котельных ежегодно накапливаются миллионы тонн ЗШО, что требует эффективных решений по их утилизации и переработке. В то же время активные минеральные добавки для бетонных композитов в основном импортируются, что увеличивает себестоимость производства строительных материалов. Таким образом, внедрение технологий переработки золошлаковых отходов и золы рисовой шелухи в строительной отрасли является важным направлением, способствующим устойчивому развитию, снижению зависимости от импортных компонентов и повышению экологической безопасности.

**Задачи исследований:**

1. Изучение теоретических основ создания композиционных вяжущих и бетонов с учетом современной теории твердения цементных вяжущих, а также механизмов структурообразования композиционных материалов.
2. Провести анализ микроструктуры, химического, минералогического, фазового и гранулометрического состава топливных отходов и золы рисовой шелухи, и установить эффективное направление их использования в производстве композиционных вяжущих, заполнителей и бетонов.
3. Оптимизация рецептурно - технологических факторов и свойств композиционных цементных вяжущих с использованием золошлаковых отходов (зола гидроудаления, золошлаковая смесь, топливный шлак).
4. Исследование зернового состава природных мелких заполнителей и золошлаковых отходов для использования в качестве заполнителя для бетонов.

5. Оценка эффективности использования золошлаковых отходов при получении мелкозернистых бетонов с заданными эксплуатационными характеристиками.
6. Оптимизация рецептурно - технологических факторов и свойств мелкозернистых бетонов с использованием золошлаковых отходов на заполнителе из топливных шлаков.
7. Оптимизация составов мелкозернистых бетонов с на цементных вяжущих с наполнителем из рисовой шелухи и заполнителем с золой гидроудаления.
8. Оптимизация составов мелкозернистых бетонов на низкомарочных цементнозолошлаковых вяжущих и природном заполнителе.
9. Разработка технологии и расчет технико-экономических показателей композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонов.
10. Технико-экономическая оценка и опытно-промышленная апробация результатов исследований.

#### **Научная новизна полученных результатов.**

1. Разработаны научно-прикладные основы и технологические решения для создания оптимальной структуры композиционных цементных вяжущих с использованием топливных отходов, обеспечивающие необходимые показатели качества мелкозернистых бетонов на их основе.
2. Систематизированы и обобщены направления и механизмы управления структурой композиционных цементных вяжущих для обеспечения их требуемых стабильных прочностных и других эксплуатационных свойств.
3. Предложены экспериментально- статистические модели свойств композиционных цементных вяжущих с различными топливными отходами, позволяющие прогнозировать их свойства в различных условиях твердения и установить связь между рецептурно- технологическими параметрами.
4. Предложены оптимальные зерновые составы природных мелких заполнителей и заполнителей из топливных отходов для обеспечения оптимальной плотной структуры мелкозернистого бетона требуемого качества, позволяющая снизить содержание цемента.
5. Предложены различные способы использования золошлаковых отходов и золы рисовой шелухи в качестве наполнителей в цемент, позволяющих сохранить, а некоторых случаях повысить его прочностные показатели.
6. Предложены экспериментально-статистические модели свойств мелкозернистого бетона на низкомарочных цементах, активизированных и наполненных золошлаковой смесью, с сохранением требуемых эксплуатационных свойств.
7. Предложены экспериментально-статистические модели свойств мелкозернистого бетона на композиционном вяжущем с наполнителем из золы рисовой шелухи и мелком заполнителе, где недостающая дисперсная часть представлена золой гидроудаления.
8. Разработаны оптимальные составы мелкозернистых бетонов классов В7,5 – В 20,5 на композиционных вяжущих веществах, наполненных золой

гидроудаления, золошлаковой смесью, топливным шлаком и золой рисовой шелухи.

### **Практическая значимость полученных результатов**

1. Проведена систематизация золошлаковых отходов, определена и обоснована направленность их использования в качестве наполнителя цемент и в качестве заполнителей для бетонов.
2. Получены и рекомендованы композиционные вяжущие вещества, наполненные золой гидроудаления, золошлаковой смесью, топливным шлаком.
3. Получены оптимальные составы мелкозернистых бетонов на разработанных композиционных цементных вяжущих веществах и заполнителях природного и техногенного происхождения.
4. Получены мелкозернистые бетоны на низкомарочных цементах, активированных и наполненных золошлаковой смесью.
5. Разработан оптимальный состав мелкозернистого бетона с использованием золы рисовой шелухи как наполнителя в цемент и золы гидроудаления как дисперсная часть мелкого заполнителя.
6. Разработаны оптимальные гранулометрические составы мелких заполнителей и природного песка, золошлаковой смеси, золы гидроудаления и топливного шлака.
7. Разработаны технологические карты на производство композиционных вяжущих и изделий из мелкозернистых бетонов.
8. Рассчитаны основные технико-экономические показатели производства разработанных композиционных вяжущих и бетонов на их основе.
9. Результаты диссертационных исследований апробированы на предприятиях г. Бишкек ЗАО Кум-Шагыл и ОсОО "Шерой".

### **Экономическая значимость полученных результатов.**

1. Экономический эффект при изготовлении мелкозернистого бетона В-15 (М 200) при введении в цемент золы ГУ 30 % при выпуске 10000 т/год составит 3 422 300 сом; экономический эффект от введения в цемент ЗПС 20 % при выпуске 10000 т/ год составит 3 836 970 сом.
2. Экономический эффект при выпуске 10 000 тонн бетона В-15 (М 200) составит 2 490 000 сом; а при изготовлении 10 000 штук условного стенового блока из МЗБ класса В-15 (М 200) экономическая эффективность составит 29 600 сом.
3. При производительности завода по производству бетона 30 тыс. м<sup>3</sup>/ год экономическая эффективность от использования добавки золы рисовой шелухи (ЗРШ) в цемент и золы гидроудаления (ЗГУ) вместо части мелкого заполнителя составит при изготовлении экспериментальных мелкозернистых бетонов классов В15 - 8215500 сом; В20 - 15523800 сом; В22,5 - 26812200 сом.

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

1. Результаты химического, физико-химического, микроструктурного анализов и физико - механических испытаний золошлаковых отходов и золы

рисовой шелухи для определения направленности их использования в композиционных вяжущих веществах и мелкозернистых бетонах.

2. Результаты исследований основных физико-химических характеристик золы гидроудаления, золошлаковых смесей и топливных отходов для оценки их активности в композиционных вяжущих веществах в зависимости от количества и способа их введения.

3. Результаты оптимизации зернового состава мелких заполнителей природного и техногенного происхождения (зола гидроудаления, золошлаковая смесь, топливный шлак) для полной или частичной замены в мелкозернистом бетоне.

4. Оптимальные составы композиционных вяжущих веществ, полученных разными способами и наполненных в разной степени золой гидроудаления, золошлаковой смесью и топливным шлаком.

5. Оптимальные составы МЗБ классов В7,5 - В-20,5 на основе композиционного вяжущего вещества с наполнителями из золы гидроудаления, золошлаковой смеси, топливного шлака и заполнителя из топливного шлака.

6. Оптимальные составы МЗБ классов В7,5 – В15 на основе низкомарочного активизированного и наполненного золошлаковой смесью вяжущего, суперпластификатора и природного заполнителя.

7. Оптимальные составы МЗБ классов В7,5 - В-20 МЗБ на основе композиционного вяжущего вещества, наполненного золой рисовой шелухи и природного заполнителя с дисперсными частицами золы гидроудаления (Патент №2293).

8. Оптимальные составы МЗБ класса В25 на основе цементнозолошлакового вяжущего и природном мелком заполнителе оптимальной гранулометрии.

9. Технологическая схема и технико-экономические показатели производства композиционных вяжущих веществ, бетонов и изделий на их основе.

**Личный вклад соискателя** в изучении химического состава, микроструктуры, физико-химических особенностей фазового состава и систематизация топливных отходов для оценки направленности их использования; в изучении и анализе физико-химических особенностей структурообразования композиционного вяжущего вещества с ЗШО различной степени наполнения; в оценке зависимости свойств композиционных вяжущих веществ от механической активации, количества и вида ЗШО; Оценка эффективности использование цемента в композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонах; в определении и анализе основных физико-механических свойств МЗБ требуемого класса на композиционных цементных вяжущих и заполнителях из топливного шлака; в определении рационального зернового состава мелких заполнителей природного и техногенного происхождения; разработке состав МЗБ на активированном низкомарочном цементе с ЗШО; разработке состав МЗБ на композиционном вяжущем, наполненного золой рисовой шелухи и



природном наполнителе с дисперсными частицами золы гидроудаления; в разработке технологической схемы и расчете технико-экономических показателей производства композиционных вяжущих веществ и МЗБ с использованием ЗШО и золы рисовой шелухи.

Особая благодарность выражается всему коллективу кафедры «Производство, экспертиза строительных материалов и конструкций», в частности научному консультанту д.т.н., профессору Абдыкалыкову А. и к.т.н., профессору Ассакуновой Т.Т.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения диссертационной работы докладывались на конференциях и семинарах:

1. 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» May 29-31, 2017 Izmir, Turkey;
2. Международная научно-практическая конференция «НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ» Казахстан г. Шымкент 2017 г. ноябрь;
3. Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве» Алматы 2018 г.
4. Международная практическая конференция «Вызовы современности: инновационное развитие строительной отрасли, проблемы ее цифровизации и стандартизации» 25-26 апреля 2019 г., г. Бишкек, КГУСТА им.Н.Исанова;
4. Membership in the WTO: Prospects of Scientific Researches and International Technology Market» Materials of the IV International Scientific-Practical Conference, October 23-25, 2019, Vancouver, Canada.
7. Международный семинар «Моделирование и оптимизация строительных композитов», 21-22 ноября 2019 г., г. Одесса, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина.
8. 9-я Международная конференция по актуальным проблемам инженерной механики, АРЕМ 2022; Украина, Одесса; с 20 по 24 мая 2019 г.
9. V International Scientific-Practical Conference "Integration of the Scientific Community To the Global Challenges of Our Time" February 12-14, 2020. Tokyo, Japan.
10. Международная конференция ученых-практиков «Интеграция научных сообществ глобальные вызовы нашего времени» 12-14 февраля 2020 г.
11. Международная сетевая научно-практическая конференция «Интеграционные процессы в научно-техническом и образовательном пространстве» вузов-участников Российско-Кыргызского консорциума технических университетов (РККТУ) 14 мая 2021 г.
12. XXII Международные Байконуровские чтения «Актуальные вопросы современной науки и образования» Научно-практическая конференция посвященная 110 летию академика О.А. Байконурова, 2022 г.
13. IX international scientific-practical conference The Europe and the Turkic World: Science, Engineering and Technology. - Адана, 2024.
14. Международная научно-практическая конференция «Строительная наука и образование: интеграция вузовской науки в устойчивое инновационное развитие страны», посвященная к 30-

летию образования КГУСТА им. Н.Исанова 27-28 мая 2022 г. 15. IX научно-практическая конференция «Актуальные проблемы инженерной механики Украина, Одесса; ОГАСА, 17-20 мая 2022 г. 16. Международная научно-практическая конференция «Современные тренды в строительстве: проблемы и пути их решения», посвященная 80-летию выдающегося государственного и политического деятеля Кыргызской Республики Насирдина Исанова 2 ноября 2023 г. 17. Международная научно-техническая конференция «Моделирование и оптимизация строительных композитов» (семинар MOBS) Украина, Одесса; 5-6 декабря 2024 г.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из 7 глав, общих выводов, списка использованной литературы, включающего 238 наименований. Полный объем диссертации 272 страниц, включая 70 рисунков, 67 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** раскрывается актуальность темы, направление исследований и общая характеристика диссертационной работы. Сформулированы цели, задачи исследования, научная новизна и оценка практической значимости полученных результатов.

**В первой главе «АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЩУЩИХ ВЕЩЕСТВ И БЕТОНОВ»** рассмотрены особенности твердения цементных вяжущих веществ в присутствии активных минеральных добавок. Среди всех вяжущих веществ, используемых в строительстве, портландцемент в отличие от гипсовых, магнезиальных и известковых вяжущих имеет более сложный химический и минеральный состав, который обеспечивает возникновение разных по составу и строению новообразований, способных затвердевать, набирать прочность и сохранять ее длительное время. Согласно теории твердения вяжущих веществ А.А. Байкова, гидратация минералов клинкера может идти в двух направлениях: через раствор и топохимически. В соответствии с основными положениями теории твердения вяжущих веществ А.В. Волженского можно осознанно и целенаправленно управлять свойствами цементного камня, а значит и бетона. Изменяя температуру твердения, минеральный состав, дисперсность цемента, щелочность жидкой фазы твердеющей системы, можно регулировать скорость гидратации минералов, состав новообразований, размер кристаллов новообразований и соответственно строительные свойства затвердевшего цемента. Однако, необходимо знать, как и при каких условиях проходят не только химические, но и физико-химические процессы в твердеющем цементе. Большинство строительных материалов это сложные многокомпонентные системы, состоящие из более простых по строению подсистем. Существование различных уровней структурных неоднородностей позволяет рассматривать строительные материалы как

полиструктурные или сложносоставленные системы, организованные по принципу «структура в структуре». То есть структура любого низшего уровня является составляющей структуры более высокого уровня. Поэтому изменение любого параметра структуры ведет к изменению уровней, характеризующих готовый материал. Причем композиционные материалы следует рассматривать не как их сложение на каждом масштабном уровне с образованием структур более высоких масштабных уровней. Взаимодействие двух структур одного или разного уровня структурных неоднородностей ведет к образованию новой структуры, в которой происходит трансформация свойств ее составляющих.

При разработке композиционных вяжущих и бетонов следует рассматривать их как сложную систему, состоящую из подсистем или элементов, каждый из которых выполняет свои функции. Элементы в системе не изолированы друг от друга, а сгруппированы так, чтобы обеспечить целесообразность всей системы. Причем, структурная прочность, устойчивость, разрушение и восстановление дисперсной системы связаны между собой.

Знание процессов структурообразования и взаимодействия цемента с водой в разных условиях, позволяет регулировать свойства затвердевшего цемента и создавать эффективные многокомпонентные экологически безопасные и конкурентоспособные вяжущие вещества и бетоны на их основе.

Бетон представляет собой многокомпонентную систему, которая условно делится на несколько уровней в зависимости от масштаба: цементно-песчаный камень; цементная матрица (микробетон); цементирующее вещество; новообразования цементирующего вещества; твердая фаза новообразований; субстанция единичного структурного элемента. Такая иерархия структуры бетона позволяет детально изучать его свойства на каждом уровне.

Технология производства цементных вяжущих и изделий на их основе в современных условиях должна быть эффективной и оцениваться комплексно, с учетом не только экономических, но и экологических факторов. Снижение негативного воздействия на окружающую среду, рациональное использование природных ресурсов, оптимизация потребления цемента и расширение применения техногенных отходов различных отраслей промышленности остаются приоритетными направлениями.

В исследованиях В.Н. Юнга научно обоснована вероятность использования различных минеральных добавок в цемент, где доказано, что затвердевший цементный камень «микробетон» содержит большое количество непрореагировавших зерен цемента, которые можно заменить без потери прочности различными добавками.

Минеральные добавки в виде золошлаковых отходов, золы рисовой шелухи вполне пригодны для использования в качестве наполнителя в цементы благодаря схожести химического и минералогического состава. За счет скрытой химической активности по отношению к  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и

непосредственному участию в процессах структурообразования ЗШО позволяют увеличить концентрацию твердых частиц и компенсировать недостаток дисперсных частиц в матрице бетонной смеси. Целенаправленное модифицирование структуры цемента и бетона с использованием золошлаковых отходов обеспечивает повышение их прочности, деформативности, морозо- и химической стойкости. Снижение себестоимости и энергоемкости производства остается одной из важнейших задач строительной отрасли. В этом направлении ЗШО являются наиболее приемлемыми, но недостаточно востребованными техногенными отходами. В настоящее время ЗШО в основном используют в качестве мелких наполнителей, однако наибольший экономический и экологический эффект проявляется при их применении в качестве минеральных добавок (МД) в цементе. Этот подход не только снижает затраты, но и повышает экологическую устойчивость. Для определения возможности использования ЗШО необходимо знать основные классификационные признаки: модуль кислотности и основности, силикатный модуль и коэффициент качества. По данным показателям определяется тип зол и косвенно определяется их способность к самостоятельному твердению.

Зола рисовой шелухи (ЗРШ) является одной из наиболее эффективных активных минеральных добавок для цементных вяжущих и бетонных композитов. Она представляет собой побочный продукт сгорания рисовой шелухи и содержит высокое количество аморфного диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) (от 85% до 95%), который обладает высокой пуццолановой активностью и активно участвует в процессах гидратации цемента.

Высокая удельная поверхность ЗРШ (до  $50 \text{ м}^2/\text{г}$ ) способствует эффективному взаимодействию с гидратными продуктами цемента.

Уникальность свойств ЗРШ в цементных композитах заключается в высокой пуццолановой активности, она вступает в реакцию с гидроксидом кальция ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), образующимся при гидратации цемента, и способствует образованию дополнительного количества прочных гидросиликатов кальция (CSH-гелей). Это в свою очередь увеличивает прочность цементного камня, снижает его пористость и повышает долговечность. Уплотнение структуры цементного камня происходит вследствие того, что частицы золы обладают высокой дисперсностью и могут заполнять микропоры, улучшая плотность цементной матрицы. А это приводит к снижению пористости, повышению водонепроницаемости, морозостойкости и стойкости к агрессивным средам. Таким образом, использование топливных отходов в вяжущих и бетонах экологически и экономически целесообразно: во-первых, значительный ростом цен на цемент, природные заполнители, энергоносители и, во-вторых, ухудшение экологической ситуации в результате образования и накопления промышленных отходов.

**Вторая глава «Характеристика сырья и методика проведения экспериментальных исследований»** посвящена исследованию основных характеристик сырьевых материалов, описанию методов и методик для

проведения испытаний вяжущих и заполнителей для мелкозернистого бетона в лабораторных условиях.

**Объект исследования:** композиционные цементные вяжущие вещества, мелкозернистые бетоны, получение и применение.

**Предмет исследования:** золошлаковые отходы, зола рисовой шелухи, цементные композиты. Химический состав, основные физико-химические, физико-механические, гранулометрические показатели, микроструктура золошлаковых отходов и золы рисовой шелухи. Основные физико-механические свойства композиционных вяжущих и бетонов. Экспериментально-статистические модели свойств вяжущих и бетонов. Технологические аспекты и технико-экономические показатели производства композиционных цементов, бетонов и изделий.

В качестве сырьевые материалов выбраны: портландцемент М400; мелкий заполнитель: песок повышенной крупности ( $M_k=3,38$ ) производства ЗАО «Кум-Шагыл», топливный шлак и зола гидроудаления Бишкекской ТЭС Зола гидроудаления (химический состав:  $\text{SiO}_2$  – 52,0%;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 13,3%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 12%;  $\text{CaO}$  – 13%;  $\text{MgO}$  – 7%;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,5%;  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,2%), зола рисовой шелухи Баткенской области (содержание аморфного  $\text{SiO}_2$  – 81,3%), пластифицирующая поликарбоксилатная добавка Neolit 303, высоководоредуцирующая добавка MasterGlenium 116 и 197.

Основные качественные показатели исследуемых ЗШО по результатам испытаний соответствуют ГОСТ 25592-91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов».

Зола рисовой шелухи обладает высокой удельной поверхностью и высоким содержанием диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  -81,3, что обеспечивает ее высокую пуццолановую активность.

Изучение микроструктуры золы рисовой шелухи и золошлаковых смесей проводилось на сканирующем электронном микроскопе VEGA3 TESCAN.

Для принятия инженерных технологических решений оптимизация рецептурно-технологических факторов композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонов проводилась по результатам экспериментальных исследований по двух и трех факторным планам. Далее были рассчитаны коэффициенты экспериментально-статистических моделей второго порядка свойств и их графические образы (номограммы).

В исследованиях проводилась корректировка гранулометрического состава заполнителей, имеющих максимальное приближение к эталонной кривой с помощью программы по методике расчета оптимального зернового состава по программе «GRANUMETRIK».

**Третья глава «Исследование микроструктуры и физико-химических свойств золошлаковых отходов и золы рисовой шелухи и основных свойств композиционных вяжущих свойств»** посвящена исследованию микроструктуры и физико-химических свойств золошлаковых отходов и золы рисовой шелухи. Исследования топливных отходов ТЭЦ

проводились на различных пробах, которые, в зависимости от метода отбора, условий горения и хранения, были разделены на золу гидроудаления, золошлаковую смесь и топливный шлак.

Детальный анализ золы гидроудаления (ГУ) на сканирующем электронном микроскопе VEGA3 TESCAN позволил рассмотреть распределение сферических частиц и микроагрегатов в её микроструктуре при увеличениях  $\times 246$ ,  $\times 348$ ,  $\times 718$ ,  $\times 2210$  и  $\times 37\,900$ .

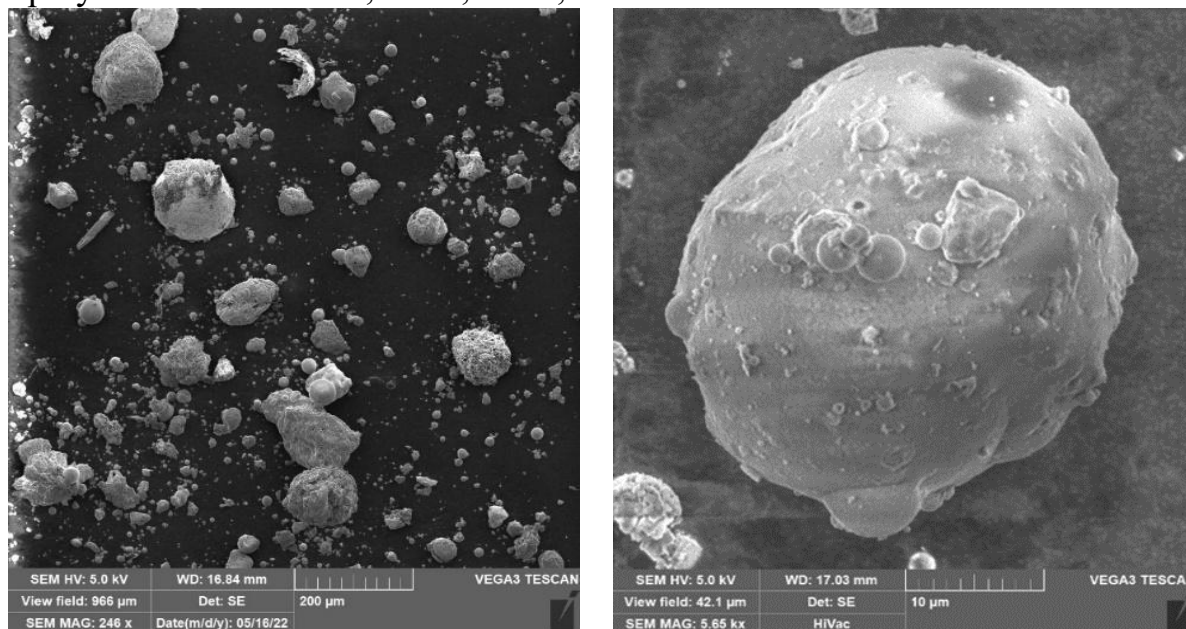


Рисунок 1 - Микроструктуры зола гидроудаления БТЭЦ ( $\times 246$  и  $\times 5650$ )

Наиболее ценным компонентом золы гидроудаления являются микросферы легкой фракции, представляющие собой мелкодисперсный порошок, состоящий из полых тонкостенных частиц сферической формы алюмосиликатного состава. Размер частиц варьируется в широком диапазоне: алюмосиликатные полые микросферы представляют собой дисперсный материал с размером частиц от 10 до 200 мкм. При увеличении  $\times 5650$  видно, что внешняя поверхность микросфер размером 50–500 мкм в основном гладкая или шероховатая и непористая. Светлый прозрачный оттенок стекла, вероятно, обусловлен стекловидной формой муллита или геленита (рис. 1).

Шлак представляет собой грубодисперсный материал с размером зерен от 0,315 до 40 мм, образующийся из минеральной части твердого топлива. В отличие от золы, шлак образуется при более высоких температурах (1300–1700 °С), практически не содержит несгоревшего топлива (углеродных частиц) и отличается большей однородностью. Исследование фазового состава топливных отходов (ЗШС и композиционных вяжущих) показали на рентгенограмме наличие линий, характерных для кварца – d-SiO<sub>2</sub> d = 4,24; 3,34; 2,44; 1,81; Å, муллита (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2 SiO<sub>2</sub>) d=5,39; 3,35; 2,86; 2,52; 2,19 Å и карбонатов, представленных бесцветным мелким образованием кальцита (CaCO<sub>3</sub>) и доломита (MgCO<sub>3</sub>·CaCO<sub>3</sub>).

На микрофотографиях, представленных на рис. 2 структура ЗРШ при разрешении ( $\times 133$ ) видно большое количество мелких и пористых частиц,

которые при правильном применении способствуют заполнению пор в цементной матрице

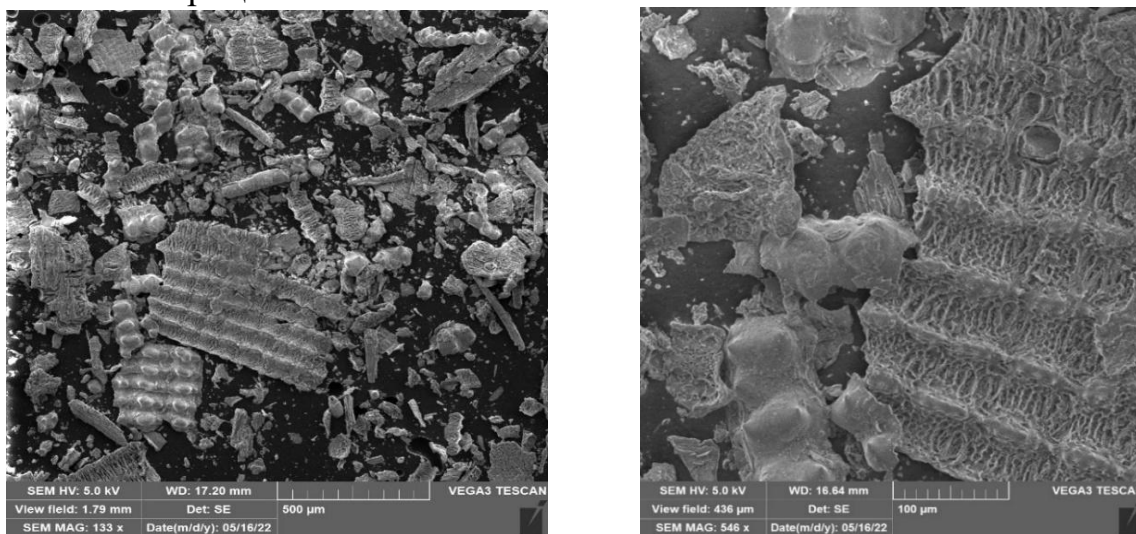


Рисунок 2 - Микроструктуры золы из рисовой шелухи ( $\times 133$  и  $\times 534$ )

Можно увидеть различие кристаллических и аморфных фаз в золе рисовой шелухи. Частицы содержат аморфный диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ). На изображении ЗРШ видна ее неупорядоченная структура.

Исследования основных свойств золошлаковых отходов Бишкекской ТЭС характеризуются практически отсутствием  $\text{CaO}_{\text{св}}$ , поэтому представляет интерес в производстве цементных вяжущих, что возможно осуществить по двум направлениям: - в качестве активной минеральной добавки к клинкеру непосредственно на цементном заводе не снижая марку цемента и не изменяя его нормативные характеристики; - в качестве наполнителей в цемент с предварительной или совместной активацией. Все ЗШО были классифицированы в зависимости от способа их введения в цемент:

1. ЦЗВ<sub>м</sub> – механическая смесь просеянной золы ГУ и цемента;
2. ЦЗВ<sub>и</sub> - активированная помолом смесь золы ГУ и цемента;
3. ЦЗШВ<sub>м</sub> - механическая смесь просеянной ЗШС и цемента;
4. ЦЗШВ<sub>и</sub> - активированная помолом смесь ЗШС и цемента;
5. ЦШВ<sub>м</sub> - механическая смесь просеянного шлака и цемента;
6. ЦШВ<sub>и</sub> - активированная помолом смесь топливного шлака и цемента;
7. ЦШВ<sub>м</sub> - механическая смесь тонкоизмельченного шлака и цемента;
8. ЦШВ<sub>и</sub> - активированная помолом смесь тонкоизмельченного шлака и цемента;

### 3.3.1 Композиционные цементные вяжущие вещества с золой гидроудаления.

Ценность используемой ЗГУ заключается в её явной или скрытой способности проявлять вяжущие свойства, которые активизируются в процессе измельчения. Удельная поверхность золы  $S_{\text{уд}} = 225 \text{ м}^2/\text{кг}$  через 30 мин помола достигает дисперсности цемента  $310 \text{ м}^2/\text{кг}$ , после 1 часа  $S_{\text{уд}} = 360 \text{ м}^2/\text{кг}$ , а после 1,5 часа —  $380 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Замедление роста наблюдается после трех часов помола  $390 \text{ м}^2/\text{кг}$ , что свидетельствует о хорошей размалываемости ЗГУ. Результаты исследований свойств вяжущего ЦЗВ<sub>м</sub> (механическая смесь

цемента и просеянной золы ГУ) и вяжущего ЦЗВ<sub>и</sub> совместно измельченной смеси в течение часа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные показатели свойств вяжущих ЦЗВ<sub>м</sub> и ЦЗВ<sub>и</sub>

№ пп	Кол. ЗШС в цем., %	Норм-я густ., %	Тонк. пом., % 008	Ср. схват, мин.		Предел прочности, МПа			
				Начало	Конец	R <sup>тво</sup> <sub>изг</sub>	R <sup>28</sup> <sub>изг</sub>	R <sup>тво</sup> <sub>сж</sub>	R <sup>28</sup> <sub>сж</sub>
<b>ЦЗВ<sub>м</sub></b>									
1	0	24	87	96	446	4,12	6,88	19,32	33,46
2	10	28	87,7	100	261	4,82	4,28	18,1	21,4
3	30	30	88,5	110	403	4,11	3,2	13,6	18,29
4	50	32	89,2	146	390	3,3	2,8	10,6	10,14
<b>ЦЗВ<sub>и</sub></b>									
5	0	24	87	96	447	4,12	6,88	19,32	33,46
6	10	28	89	95	243	5,4	5,7	21,7	32,7
7	30	29	90	108	350	5,05	3,6	20	21,8
8	50	30	91	126	361	4,8	3,5	17,2	21,6

Испытания вяжущего ЦЗВ<sub>м</sub> (смесь просеянной ЗГУ и цемента) показали, что по мере наполнения золой ГУ с 10 до 50 % нормальная густота повышается с 28 до 32 %, а тонкость помола незначительно увеличивается. При 10 % тонкость помола ЦЗВ<sub>м</sub> близка к тонкости помола взятого цемента (87,7 %), а при 50 % тонкость помола изменяется до 89,2%. Однако вяжущее ЦЗВ<sub>м</sub> характеризуется повышенной водопотребностью (до 32 %) из-за особенностей его микроструктуры и микрорельефа частиц.

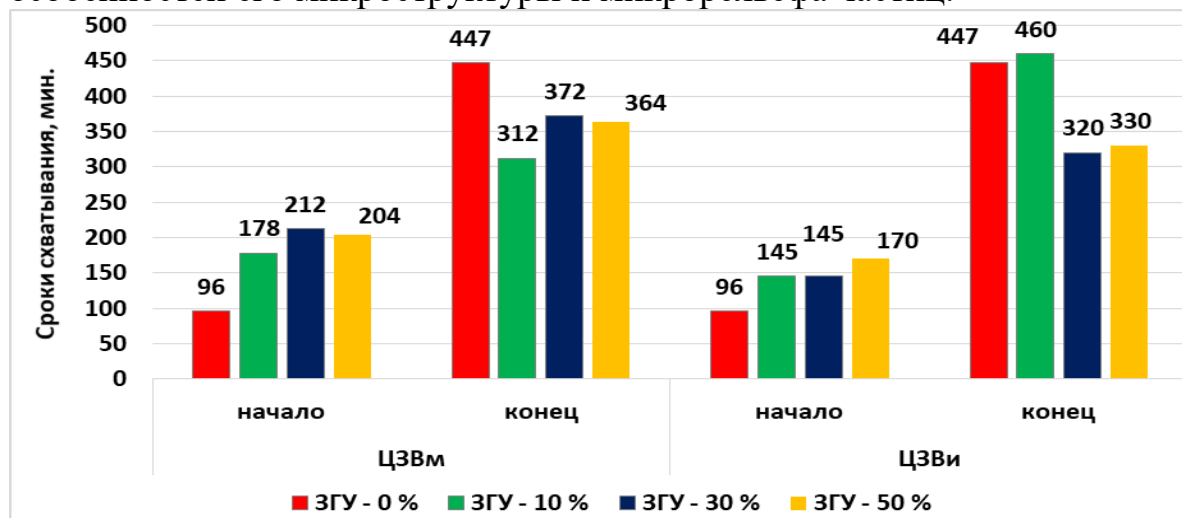


Рисунок 3 – Сроки схватывания вяжущего ЦЗВ<sub>м</sub> и ЦЗВ<sub>и</sub>

Наполнитель из ЗГУ от 10 до 30 и 50% для вяжущих ЦЗВ<sub>м</sub> и ЦЗВ<sub>и</sub> влияет на сроки схватывания (рис.3), что связано с разбавляющим эффектом цемента и также может сорбировать часть воды затворения, замедляя гидратацию цемента. Для ЦЗВ<sub>м</sub> начало схватывания растет от 96 до 212, 204 минут по мере наполнения. Конец схватывания наоборот снижается от 447 до 312, 372 и 364 мин., что объясняется пуццолановой активностью золы.

На рис. 4 видно, что в естественном немолотом виде прочность снижается, т.к. мелкие гранулы золы остаются нетронутыми пока не прогидратирует верхняя оболочка зольной частицы. После 28 суток прочность вяжущего ЦЗВ<sub>и</sub> при сжатии R<sub>сж</sub> = 32,7 МПа выше в 1,53 раза



прочности ЦЗВ<sub>М</sub>  $R_{сж} = 21,4$  МПа, несмотря на одинаковую водопотребность (28 %). С повышением содержания золы до 50% доминирующая роль в гидратационных процессах ЦЗВ<sub>И</sub> принадлежит зольной составляющей.

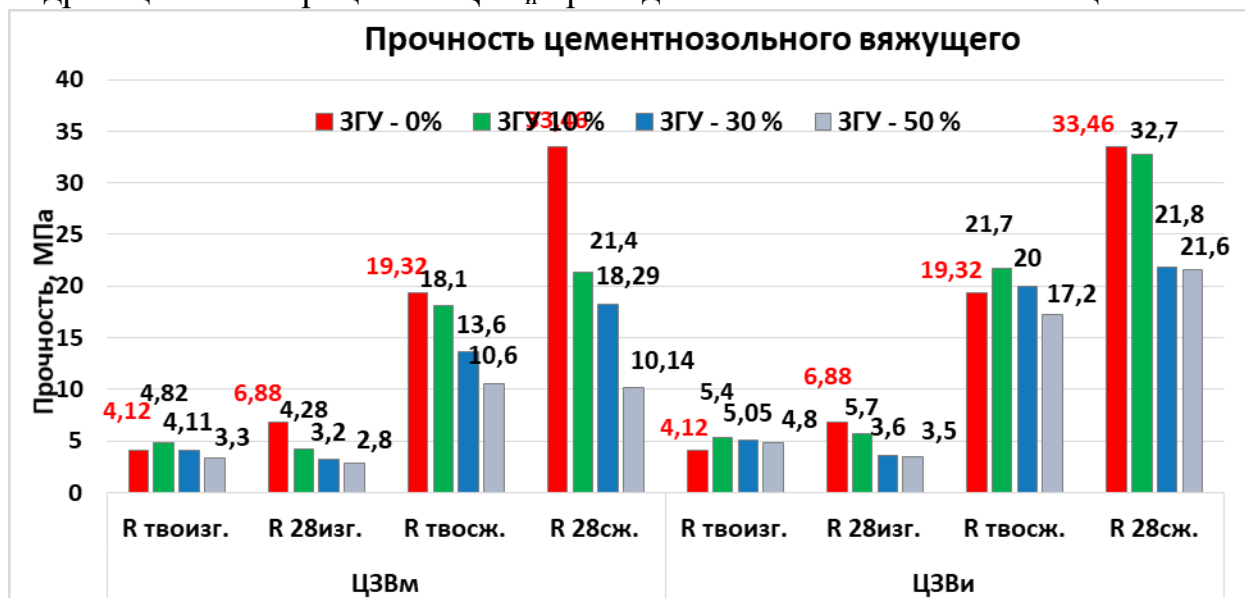


Рис. 4 – Прочность на сжатие и изгиб ЦЗВ<sub>М</sub> и ЦЗВ<sub>И</sub> после ТВО и 28 суток

Вяжущее ЦЗВ<sub>И</sub> при 10% содержании золы имеет прочность  $R_{сж}^{ТВО} = 21,7$  МПа, что составляет 70% от прочности нормального твердения (32,7 МПа); при содержании 30% золы (20 МПа) составляет 90 % от (21,8 МПа) и 50 % золы – 17,2 МПа 80 % от (21,6 МПа), что подтверждает активность ЦЗВ<sub>И</sub> при ТВО. Вяжущие ЦЗВ<sub>И</sub> обладают более высокой коррозионной стойкостью, чем цементные. При выдерживании 3 месяца ЦЗВ<sub>И</sub> с золой 10% в растворе 0,5 %  $Na_2SO_4$  коэффициент  $K_{ст} = 1,06$ ;  $K_{ст} = 1,2$  при содержании 30% золы и  $K_{ст} = 0,9$  при наличии 50% золы. Поскольку зола ГУ способствует связыванию  $CaO_{св}$  и снижению основности гидросиликатов Са, которые являются более стойкими против коррозии выщелачивания.

#### Оптимизация рецептурно-технологических факторов вяжущего ЦЗВ

При реализации двухфакторного эксперимента в качестве факторов выбраны:  $X_1$  – зола ГУ  $20 \pm 10$  % и  $X_2$  – время измельчения  $1 \pm 1$  час. Параметры качества: сроки схватывания, час. (начало -  $Y_1$ ), (конец -  $Y_2$ ), плотность после ТВО ( $Y_3$ ) и 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  $K_p$ .

По результатам эксперимента получены ЭС модели свойств (1-9).

$$Y_1 (\text{нач.схв.}) = 3,88 + 0,39 x_1 - 0,65x_1^2 - 0,72 x_2 + 0,75 x_2^2 - 0,55 x_1x_2 \quad (1)$$

$$Y_2 (\text{конец,схв.}) = 9,33 + 0,32 x_1 + 0,94x_1^2 - 0,68 x_2 + 0,05 x_2^2 - 0,28 x_1x_2 \quad (2)$$

$$Y_3 (\rho^{ТВО}) = 2,21 - 0,02 x_1 - 0,001x_1^2 - 0,007 x_2 + 0,01 x_2^2 + 0,007 x_1x_2 \quad (3)$$

$$Y_4 (R_{изг}^{ТВО}) = 5,60 + 0,41 x_1 + 0,22x_1^2 + 0,07 x_2 - 0,03 x_2^2 - 0,03 x_1x_2 \quad (4)$$

$$Y_5 (R_{сж}^{ТВО}) = 21,23 - 1,3 x_1 + 0,1x_1^2 + 3,65 x_2 - 1,25 x_2^2 + 0,53 x_1x_2 \quad (5)$$

$$Y_6 (\rho^{28}) = 2,158 - 0,018 x_1 - 0,002x_1^2 + 0,01 x_2 + 0,013 x_2^2 + 0,002 x_1x_2 \quad (6)$$

$$Y_7 (R_{изг}^{28сут}) = 5,23 + 0,01 x_1 + 0,13x_1^2 + 0,04 x_2 + 0,30 x_2^2 - 0,25 x_1x_2 \quad (7)$$

$$Y_8 (R_{сж}^{28сут}) = 31,91 - 2,79 x_1 - 0,14x_1^2 + 6,23 x_2 - 4,71 x_2^2 - 0,92 x_1x_2 \quad (8)$$

$$Y_9 (K_p) = 1,15 - 0,02 x_1 - 0,06x_1^2 + 0,0762 x_2 + 0,04 x_2^2 + 0,042 x_1x_2 \quad (9)$$

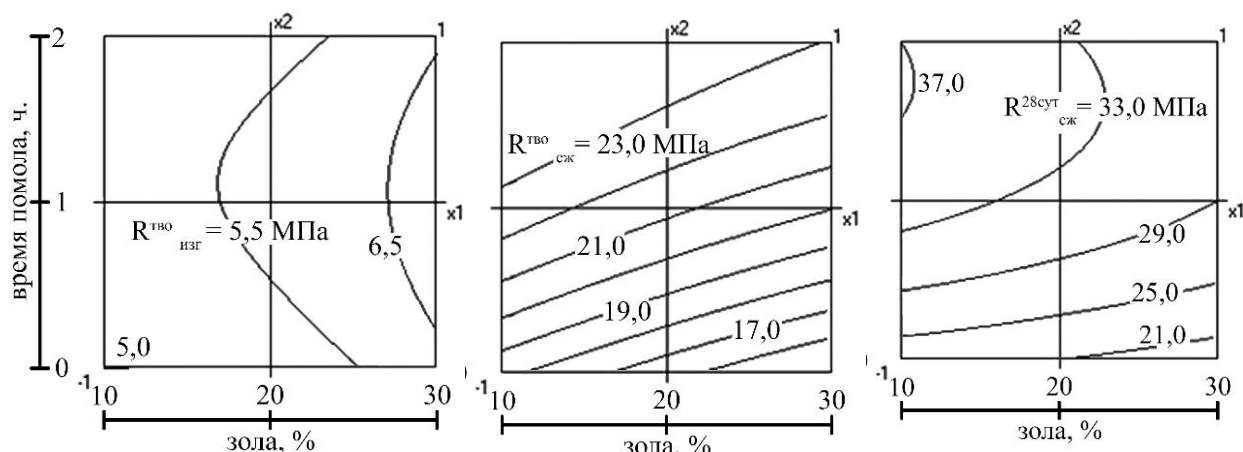


Рисунок 5 – Номограммы прочности ЦЗВ  $R^{тво}_{изг}$ ,  $R^{тво}_{сж}$ ,  $R^{28}_{сж} = f(x_1, x_2)$

Анализ прочностных свойств вяжущих по моделям и по номограмме показал, что  $R^{тво}_{сж}$  растет и зависит от времени помола от 16 до 23 МПа, для  $R^{28}_{сж}$  от 21 до 37 МПа (ЗГУ 10%). Помол 2 часа резко повышает прочность ЦЗВ на 60%. При максимальном содержании ЗГУ 30% и помоле ЦЗВ 1 час прочность растет от 21 до 29 МПа. Помол 2 часа не эффективен, т.к. прочность увеличилась только на 1-2 МПа. Коэффициент размягчения (модель 9) практически для всех серий 2-х факторного эксперимента составляет  $K_p \geq 1,0$  и будет увеличиваться в дальнейшем, вследствие пуццоланических реакций ЗГУ с продуктами гидратации цемента.

#### Композиционные цементношлакозольные вяжущие ЦЗШВ с (ЗШС).

В табл. 2 показано, что водопотребность (НГ) активированного вяжущего ЦЗШВ<sub>и</sub> ниже, чем у механически смешанного ЦЗШВ<sub>м</sub> и изменяется в пределах 26,8% до 29% при количестве добавки 10-50%.

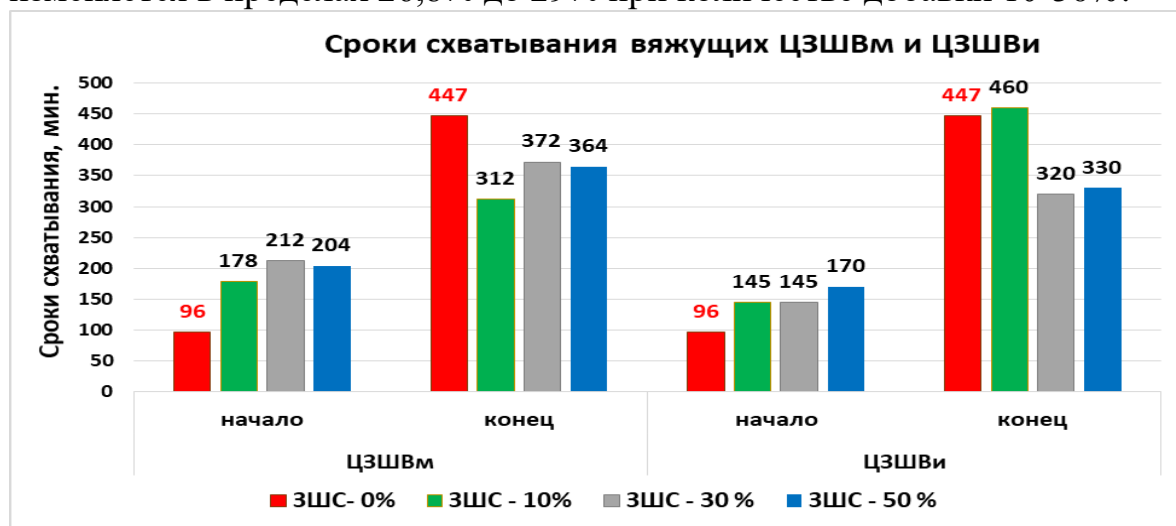


Рисунок 6- Сроки схватывания вяжущих ЦЗШВ<sub>м</sub> и ЦЗШВ<sub>и</sub>

Начало схватывания ЦЗШВ<sub>м</sub>, модифицированных золошлаковой смесью (10, 30 и 50 %) значительно удлиняются от 96 до 212, 214 минут. А конец схватывания наоборот сокращается от 447 до 364 минуты с 50% ЗШС (рис.6). Те же изменения наблюдаются и у активированного вяжущего ЦЗШВ<sub>и</sub>. Показатели прочности вяжущего, твердеющего в нормальных и

условиях ТВО отличаются значительно при малых концентрациях наполнителя и выравниваются при ее максимальном содержании.

Таблица 2 – Основные свойства вяжущих веществ ЦЗШВ<sub>м</sub> и ЦЗШВ<sub>и</sub>

№ пп	Колич-во ЗШС в цементе, %	Норм-я Густота, %	Тонкость помола, % сито 008	Сроки схватывания, мин.		Предел прочности, МПа			
				Начало	Конец	R <sup>тво</sup> <sub>изг</sub> , МПа	R <sup>28</sup> <sub>изг</sub> , МПа	R <sup>тво</sup> <sub>сж</sub> , МПа	R <sup>28</sup> <sub>сж</sub> , МПа
<i>ЦЗШВ<sub>м</sub></i>									
1	0	24	87,0	96	447	4,12	6,88	19,32	33,46
2	10	27	87,0	178	312	5,15	6,3	21,7	33,04
3	30	28	88,3	212	372	4,18	5,4	19,4	27,8
4	50	32	89,0	204	364	4,63	4,47	17,1	16,6
<i>ЦЗШВ<sub>и</sub></i>									
5	0	24	87	96	447	4,12	6,88	19,32	33,46
6	10	26,8	87,6	145	460	4,4	6,4	20,1	34,44
7	30	29	89	145	320	5,08	7,95	19,8	28,86
8	50	29	89,3	170	330	4,8	5,9	18,4	28,16

Прочность на сжатие (R<sub>сж</sub>) образцов 28 суточного возраста при ЗШС 10% равнозначны прочности исходного цемента у ЦЗШВ<sub>м</sub>, и ЦЗШВ<sub>и</sub> (33,04 и 33,46 МПа).

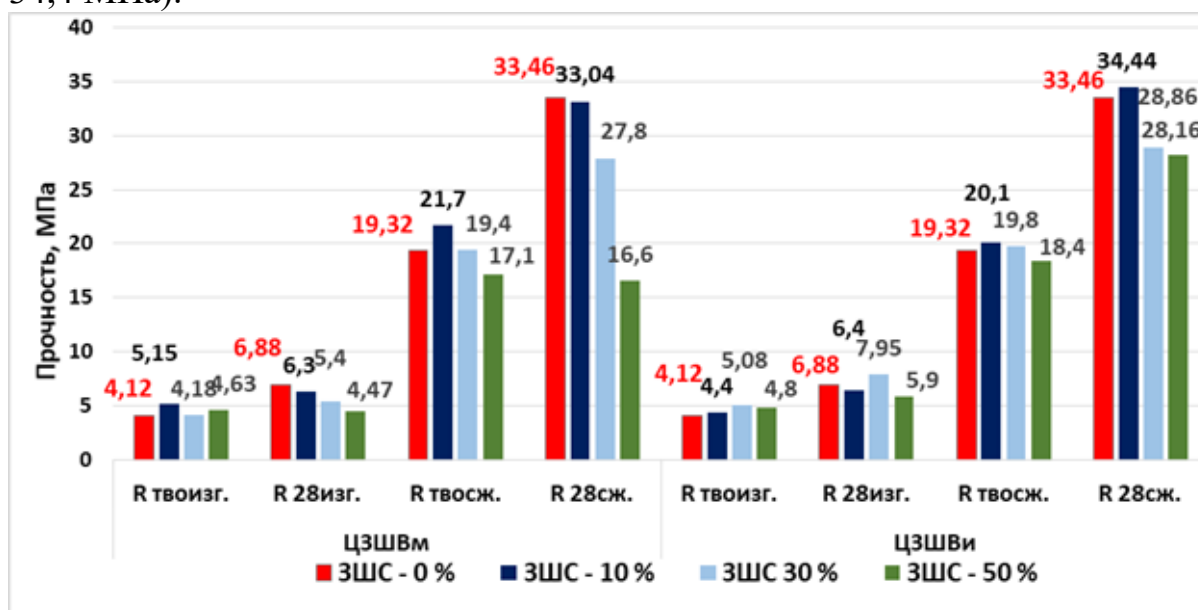


Рисунок 7 – Прочность при изгибе и сжатии ЦЗШВ<sub>м</sub> и ЦЗШВ<sub>и</sub>

Дальнейшее повышение содержания ЗШС до 50% снижает прочность R<sup>тво</sup><sub>сж</sub> вяжущего в два раза от 33,04 до 16,6 МПа (рис. 7). Для ЦЗШВ<sub>м</sub> количество ЗШС до 30 % практически не сказалось на прочности при изгибе и сжатии. После ТВО прочность ЦЗШВ<sub>м</sub> вяжущего с 10 % ЗШС составила R<sup>тво</sup><sub>изг</sub> = 21,7 МПа, что выше прочности чистого цемента 19,4 МПа. При твердении 28 суток прочность с ЗШС 10 % ЦЗШВ<sub>м</sub> равна 33,04 МПа и цемента 33,46 МПа.

#### Оптимизация состава цементнозолошлакового вяжущего (ЦЗШВ)

При реализации двухфакторного эксперимента варьировались факторы: X<sub>1</sub> - количество ЗШС 30 ± 20 % и X<sub>2</sub> - время измельчения 1 ± 1 час. В

качестве выходных параметров выбраны: сроки схватывания, час. (начало -  $Y_1$ ), (конец -  $Y_2$ ), прочность на изгиб и сжатие, МПа после ТВО ( $Y_3 - R^{TBO}_{изг}$ ;  $Y_4 - R^{TBO}_{сж}$ ); и на 28 суток ( $Y_5 - R^{28сут}_{изг}$  МПа;  $Y_6 - R^{28сут}_{сж}$ ). Рассчитаны ЭС модели данных свойств (10-15) и их графические образы.

$$Y_1 (\text{нач.схв.}) = 2,59 + 0,21 x_1 - 0,08x_1^2 - 0,58 x_2 + 0,18 x_2^2 - 0,01 x_1x_2 \quad (10)$$

$$Y_2 (\text{конец.схв.}) = 5,61 + 0,49 x_1 - 0,67x_1^2 - 0,37 x_2 + 0,23 x_2^2 + 0,01 x_1x_2 \quad (11)$$

$$Y_{(3)} (R^{TBO}_{изг}) = 4,65 - 0,34 x_1 + 0,16x_1^2 + 0,56 x_2 + 0,45 x_2^2 - 0,35 x_1x_2 \quad (12)$$

$$Y_{(4)} (R^{TBO}_{сж}) = 19,4 - 2,25 x_1 + 0,05x_1^2 + 1,99 x_2 - 1,96 x_2^2 - 0,65 x_1x_2 \quad (13)$$

$$Y_{(5)} (R^{28сут}_{изг}) = 7,10 - 0,81 x_1 - 0,52x_1^2 + 0,44 x_2 - 0,92 x_2^2 - 0,17 x_1x_2 \quad (14)$$

$$Y_{(6)} (R^{28сут}_{сж}) = 29,88 - 4,90 x_1 + 0,90x_1^2 + 4,28 x_2 - 0,38 x_2^2 + 2,44 x_1x_2 \quad (15)$$

ЭС модели (10-11) сроков схватывания композиционного ЦЗШВ показывают их зависимость от времени активации. Начало схватывания вяжущего повышается в зависимости от концентрации ЗШС ( $b_1 = 0,21$ ). А конец схватывания наоборот сокращается.

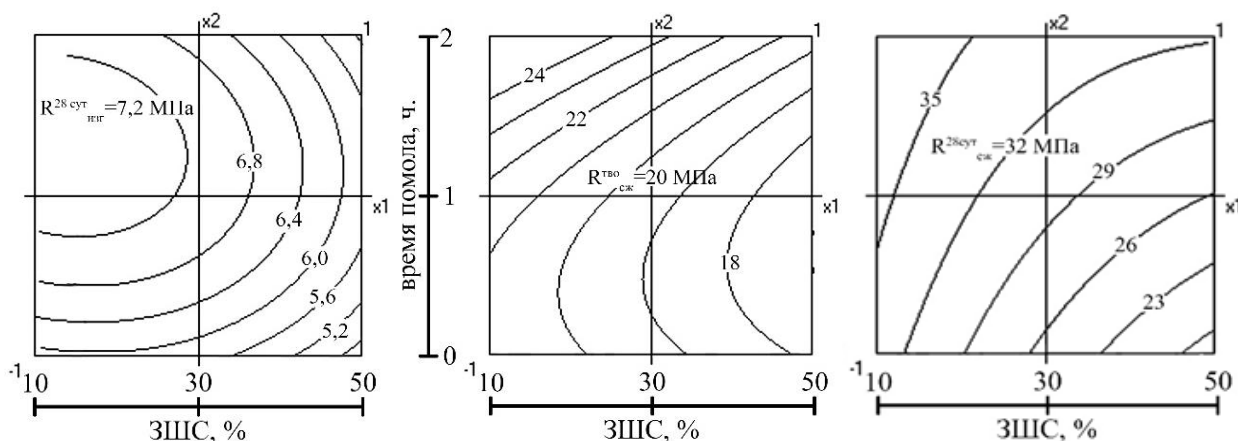


Рисунок 8 – Номограммы прочности ЦЗШВ  $R^{TBO}_{изг}$ ,  $R^{TBO}_{сж}$ ,  $R^{28сут}_{сж} = f(x_1, x_2)$

На номограмме видно, что прочность  $R^{28сут}_{изг}$  ЦЗШВ<sub>м</sub> снижается по мере «разбавления» цемента от 6 до 4,8 МПа, после помола 1 -2 часа изменение  $R^{28сут}_{изг}$  от 7,2 до 5,6 МПа. Прочность после ТВО с 10% ЗШС увеличивается по мере активации. 1 час  $R^{TBO}_{сж} = 22$  МПа, после 2 часов растет незначительно. При твердении 28 суток максимальная  $R^{28сут}_{сж} = 35$  МПа причем независимо 1 или 2 часа. Уже наполнение 30 и 50% ЗШС приводит к спаду прочности. Но даже при максимальной утилизации ЗШС 50% и активации 2 часа обеспечивается высокая прочность ЦЗШВ<sub>и</sub> равная 32 МПа.

Композиционные цементно-шлаковые вяжущие (ЦШВ) классифицировались по способам подготовки:

- ЦШВ<sub>м</sub> – механическая смесь дробленого и просеянного через сито 0,16 топливного шлака с цементом;
- ЦШВ-<sub>и</sub> - совместное измельчение дробленного шлака и цемента 1 час;
- ЦШВ<sub>м</sub> - механическая смесь тонкоизмельченного шлака и цемента;
- ЦШВ<sub>и</sub> совместный помол тонкоизмельченного шлака с цементом 1 час.

Поскольку топливный шлак имеет наибольшее содержание стеклофазы, то дробление и измельчение будет способствовать повышению его активности.

Результаты испытаний наполненных шлаком (0, 10, 30, 50%) вяжущих ЦШВ-I<sub>м</sub> и ЦШВ-I<sub>и</sub> и вяжущих ЦШВII<sub>м</sub> и ЦШВII<sub>и</sub> приведены в табл. 3

Таблица 3 – Основные свойства ЦШВ-I<sub>м</sub>, ЦШВ-I<sub>и</sub> (просеянный шлак) и ЦШВ-II<sub>м</sub> и ЦШВ-II<sub>и</sub> (шлак измельченный)

№ пп	Колич-во ЗШС в цементе, %	Норм-я Густота, %	Тонкость помола, % сито 008	Сроки схватывания, мин.		Предел прочности, МПа			
				Начало	Конец	R <sup>тво</sup> <sub>изг</sub> , МПа	R <sup>28</sup> <sub>изг</sub> , МПа	R <sup>тво</sup> <sub>сж</sub> , МПа	R <sup>28</sup> <sub>сж</sub> , МПа
<b>ЦШВ-I<sub>м</sub></b>									
1	0	24	87,0	96	447	4,12	6,8	19,32	33,46
2	10	26	88,2	180	370	5,1	0	24,18	0
3	30	26	88,7	183	326	4,14	0	14,63	0
4	50	25	88,3	203	308	3,33	0	11,29	0
<b>ЦШВ-I<sub>и</sub></b>									
5	0	24	87	96	447	4,12	6,88	19,32	33,46
6	10	25	89,5	230	304	4,8	4,9	22,8	23,1
7	30	26	89,0	224	314	3,08	3,5	13,48	14,8
8	50	27	88	197	295	3,05	3,1	10,1	10,5
<b>ЦШВ-II<sub>м</sub></b>									
9	0	24	87	96	447	4,12	6,88	19,32	33,46
10	10	25	87,5	192	314	3,98	3,8	16,18	33,7
11	30	25	88,5	203	325	3,35	3,5	12,58	32,5
12	50	24	89	184	325	3,1	3,1	11,22	20,01
<b>ЦШВ-II<sub>и</sub></b>									
13	0	24	87	96	447	4,12	6,88	19,32	33,46
14	10	28	91	133	288	4,58	5,1	16,34	34,28
15	30	27	89	201	293	3,97	5,68	15,6	32,9
16	50	25	88	202	293	2,98	5,1	14,1	20,2

Для вяжущих ЦШВ-I<sub>м</sub> нормальная густота (НГ) и тонкость помола несколько повышена по сравнению с НГ исходного цемента 24 %. Для вяжущего ЦШВ-I<sub>м</sub> при наполнении 10, 30 и 50 % НГ составляет 26, 26 и 25%, а для вяжущего ЦШВ-I<sub>и</sub> при наполнении 10, 30 и 50 % НГ равно 25, 26 и 27 %. Начало схватывания значительно удлиняются не зависимо от способа приготовления. Что касается времени конца схватывания то у всех составов вяжущего наблюдается сокращение и наибольшее отмечается у ЦШВ - II<sub>и</sub> от 447 до 293 минут.

В вяжущем ЦШВ -I<sub>м</sub>, твердеющего 28 суток в нормальных условиях количество цемента в составе смеси оказалось недостаточным для связывания частиц шлака в конгломерат и они разрушились. Однако при ТВО происходит активация составляющих шлака и при добавке 10% шлака наблюдается некоторое повышение прочности образцов в 1,3 раза (рис 9). Эффективность механоактивации шлака для ЦШВ - I<sub>и</sub>: по мере наполнения R<sup>тво</sup><sub>сж</sub> = 22,8; 13,48 и 10,1 МПа. В условиях нормального твердения 28 суток R<sup>28</sup><sub>сж</sub> = 23,1; 14,8 и 10,5 МПа. Результаты показали, что для повышения

пуццоланической активности шлака необходима дополнительная его активация помолом.



Рисунок 9 – Прочность на сжатие вяжущего ЦШВ -I<sub>М</sub> и ЦШВ - I<sub>И</sub>  
 Дальнейшие исследования на образцах вяжущего и показали равнозначную прочность при 10% и 30% шлака для ЦШВ-II<sub>М</sub>  $R_{сж}^{28} = 33,7$  и  $32,5$  МПа, а для ЦШВ-II<sub>И</sub>  $R_{сж}^{28} = 34,7$  и  $32,9$  МПа.

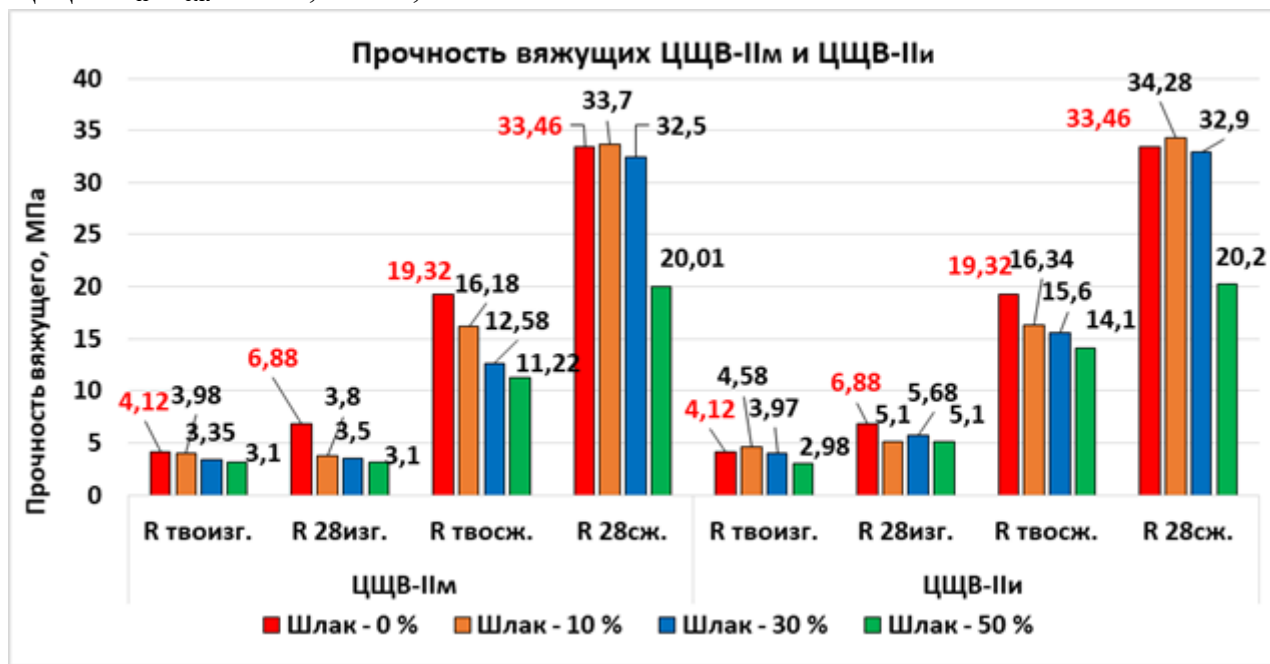


Рисунок 10 – Прочность на сжатие и изгиб вяжущего ЦШВ-II<sub>М</sub> и ЦШВ-II<sub>И</sub>

Прочность на сжатие вяжущих ЦШВ-II<sub>М</sub> и ЦШВ-II<sub>И</sub> после 28 суток нормального твердения практически равнозначна даже при 30 % содержании топливного шлака. Прочность исходного цемента  $R_{сж}^{28} = 33,46$  МПа, а прочность вяжущих ЦШВ-II<sub>М</sub> и ЦШВ-II<sub>И</sub> равна  $32,5$  и  $32,9$  МПа (Рис.10).

Оптимизация состава цементношлаковых вяжущих ЦШВ-I<sub>И</sub>, ЦШВ-II<sub>М</sub> и ЦШВ-II<sub>И</sub> была проведена при реализации двухфакторного эксперимента.



Варьировались факторы:  $X_1$  – вид вяжущего ЦШВ-И<sub>и</sub>, ЦШВ-П<sub>м</sub> и ЦШВ-П<sub>и</sub>;  $X_2$ - количество наполнителя из шлака 10, 30 и 50 %. Выходные характеристики: сроки схватывания, мин. (начало), (конец), прочность на изгиб и сжатие, МПа после ТВО -  $R_{изг}^{ТВО}$ ; -  $R_{сж}^{ТВО}$ ; и 28 суточном твердении в нормальных условиях -  $R_{изг}^{28сут}$  МПа;-  $R_{сж}^{28сут}$ .

$$Y_1 (\text{Нач.схв.}) = 206 - 19 x_1 + 4,8 x_1^2 + 4,7 x_2 - 19,7 x_2^2 + 25 x_1 x_2 \quad (16)$$

$$Y_2 (\text{Конец.схв.}) = 326 - 6,5 x_1 - 23,5 x_1^2 + 1,2 x_2 - 7,5 x_2^2 + 3,5 x_1 x_2 \quad (17)$$

$$Y_{(3)} (R_{изг}^{ТВО}) = 3,29 + 0,1 x_1 + 0,27 x_1^2 - 0,7 x_2 + 0,28 x_2^2 - 0,04 x_1 x_2 \quad (18)$$

$$Y_{(4)} (R_{сж}^{ТВО}) = 12,5 - 0,04 x_1 + 2,06 x_1^2 - 3,33 x_2 + 1,22 x_2^2 + 2,64 x_1 x_2 \quad (19)$$

$$Y_{(5)} (R_{изг}^{28сут}) = 3,5 + 0,73 x_1 + 1,1 x_1^2 - 0,42 x_2 - 0,04 x_2^2 + 0,45 x_1 x_2 \quad (20)$$

$$Y_{(6)} (R_{сж}^{28сут}) = 30,8 + 6,5 x_1 - 6,1 x_1^2 - 6,7 x_2 - 3,1 x_2^2 - 0,37 x_1 x_2 \quad (21)$$

При содержании в вяжущих шлака 10 % больший прирост начала схватывания наблюдается у вяжущего ЦШВ-И<sub>и</sub>, далее у ЦШВ-П<sub>м</sub> и затем у вяжущего ЦШВ-П<sub>и</sub>. Конец схватывания равнозначен для вяжущих ЦШВ-И<sub>и</sub> и ЦШВ-П<sub>м</sub>, для более активированного вяжущего ЦШВ-П<sub>и</sub> конец схватывания короче на 20 – 30 минут. Прочность  $R_{изг}^{ТВО}$  и  $R_{сж}^{ТВО}$  падает с наполнением. Об этом свидетельствует коэффициент ( $b_2 = -0,7$ ) ( $b_2 = -3,33$ ) при факторе  $x_2$  (модели 18 и 19).

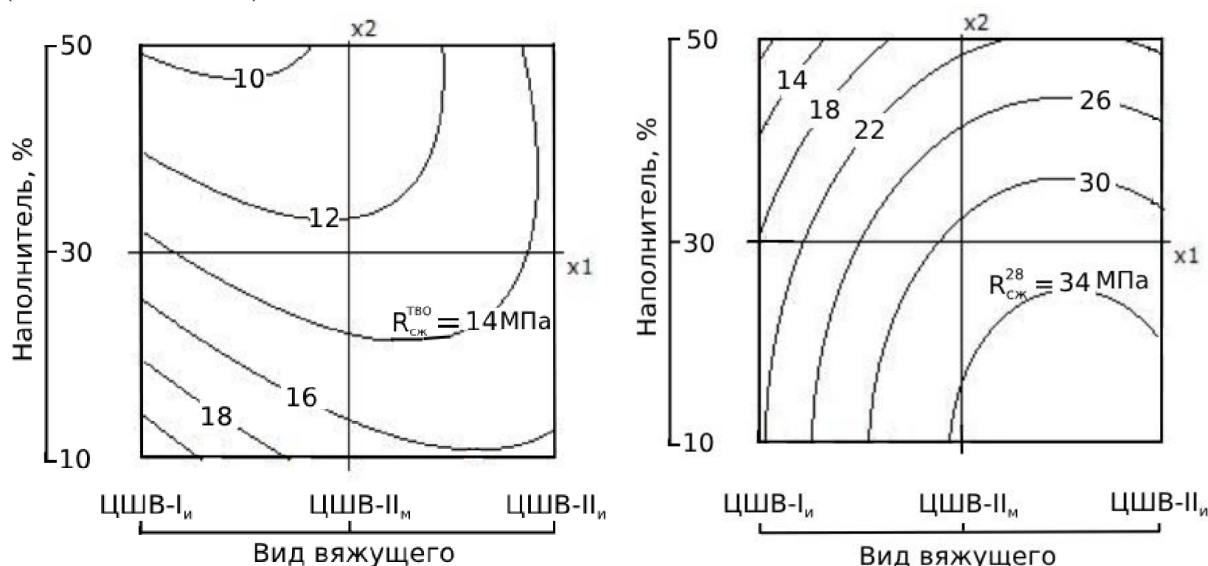


Рис. 11 – Прочность ЦШВ-И<sub>и</sub>, ЦШВ-П<sub>м</sub> и ЦШВ-П<sub>и</sub>  $R_{сж}^{ТВО}$ ,  $R_{сж}^{28сут} = f(x_1, x_2)$ ;

Прочность вяжущего ЦШВ-И<sub>и</sub> на сжатие  $R_{сж}^{28сут} = 22$  МПа при 10% шлака, а при 30 и 50% составляет 18 и 10 МПа. У вяжущего ЦШВ-П<sub>м</sub> прочность снижается от 34 до 18 МПа, а для ЦШВ-П<sub>и</sub> снижается от 34 до 22 МПа, т.е. наименьшее из всех вяжущих. Максимальная прочность  $R_{сж}^{28сут} = 34$  МПа наблюдается у вяжущего ЦШВ-П<sub>м</sub> при 10 – 12 % шлака, а для вяжущего ЦШВ-П<sub>и</sub> 10-20%. Максимальное наполнение 50% обеспечивает у них прочность  $R_{сж}^{28сут} = 22$  МПа. Т.о., наибольшая прочность  $R_{сж}^{28сут} = 34$  МПа составляет у вяжущего ЦШВ-П<sub>и</sub> с содержанием шлака 20 %, что равнозначно прочности исходного чистого цемента 33 МПа. Учитывая повышенное содержание стеклофазы в топливном шлаке, для его активизации рекомендуется совместное измельчение цемента с молотым шлаком.

Оценка эффективности использования золошлаковых отходов в композиционных вяжущих веществах оценивалась по коэффициенту эффективности использования цемента в вяжущем:  $K_{эф} = R_{сж}/Ц_0$  ( $Ц_0$  – относительный расход цемента в вяжущем, %.)

Таблица 4 – Коэффициент эффективности использования цемента  $K_{эф}$

ЗШО, %	Вид вяжущего							
	ЦЗВ <sub>м</sub>	ЦЗВ <sub>и</sub>	ЦЗШВ <sub>м</sub>	ЦЗШВ <sub>и</sub>	ЦШВ <sub>Им</sub>	ЦШВ <sub>Ии</sub>	ЦШВ <sub>Им</sub>	ЦШВ <sub>Ии</sub>
0	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335	0.335
10	0.238	0.363	0.367	0.383	0	0.257	0.374	0.381
30	0.261	0.304	0.397	0.412	0	0.211	0.464	0.47
50	0.203	0.432	0.332	<b>0.563</b>	0	0.21	0.402	0.41

Для ЦЗВ<sub>м</sub> при 10% замене  $K_{эф}$  (0.238) ниже базового (0.335), а для ЦЗВ<sub>и</sub>  $K_{эф}$  (0.363) – выше. При 30% оба значения (0.261 и 0.304) ниже нормы, а при 50% – одно снижается (0.203), другое возрастает (0.432). Это свидетельствует о высокой чувствительности эффективности к подготовке золы гидроудаления.

Для ЦЗШВ при 10% замене  $K_{эф}$  равен 0.367–0.383, при 30% – 0.397–0.412 (выше базового). При 50% наблюдается разброс: для ЦЗШВ<sub>м</sub> значение  $K_{эф}$  – 0.332, для ЦЗШВ<sub>и</sub> – 0.563, что указывает на потенциал повышения эффективности при оптимальной дозировке.

Вяжущее с просеянным шлаком (ЦШВ<sub>И</sub>) имеют крайне низкие значения  $K_{эф}$  – при 10% и 30% одно из значений равно 0, другое – 0.257 и 0.211 соответственно, что свидетельствует о неэффективном использовании данного шлака.

Вяжущее с измельченным шлаком (ЦШВ<sub>ИИ</sub>) показали стабильные значения  $K_{эф}$ , которые выше базового: при 10% – 0.374–0.381, при 30% – 0.464–0.47, при 50% – 0.402–0.41, что указывает на высокую эффективность ЦШВ<sub>ИИ</sub>.

Эффективность использования цемента в композиционных вяжущих зависит от вида и подготовки золошлаковых отходов. Вяжущие ЦШВ<sub>ИИ</sub> демонстрируют повышенный  $K_{эф}$ , особенно при 30–50% замене, что позволяет снизить расход цемента без потери прочности. ЦШВ<sub>Им</sub> оказывается менее эффективным, а зола гидроудаления требует дальнейшей оптимизации технологических параметров.

**Четвертая глава «Исследование основных свойств золошлаковых отходов в качестве заполнителей для бетона»** посвящена оценке возможности использования золошлаковых отходов (ЗШО) в качестве мелкого заполнителя для бетона. Оценка гранулометрического состава заполнителей из природного сырья и топливных отходов и корректировка их зернового состава проведена по методике оптимизации упаковки частиц с использованием компьютерного метода моделирования, основанная на алгоритме перекатывающих частиц «drop and roll», дает количественную оценку полученной упаковки.

*Песок отходов дробления Чу (МК 2,55).* Корректировка привела к более сбалансированному распределению фракций – доля 1,25 мм увеличена до 20,9%, а фракции 2,5 мм – до 28,3%. Мелкие частицы (0,63 мм, 0,315 мм и



<0,16 мм) оптимизированы для лучшего заполнения пустот, что снижает общую пустотность и улучшает сочетаемость с цементным тестом.

*Природный песок Аламединского карьера (МК 3,26).* Скорректированный состав характеризуется снижением крупной фракции 2,5 мм с 36% до 29,1% и увеличением фракции 1,25 мм до 21,4%. Остальные фракции остаются в оптимальных пределах, что обеспечивает равномерное распределение и оптимальную упаковку зерен.

*Золошлаковая смесь после корректировки.* Доля сверхкрупных частиц на сите 20 мм уменьшена с 15,7% до 5,2%. Фракции 10 мм и 5 мм перераспределены до 23,3% и 22,5% соответственно, а содержание 1,25 мм возросло с 6,7% до 11,2%. Это обеспечивает более равномерное распределение размеров и эффективное заполнение пустот.

*Зола гидроудаления.* Корректировка сместила распределение в сторону увеличения средних фракций (0,315 мм и 0,16 мм) за счёт сокращения ультрамелких (0,05 мм и 0 мм). Это позволяет снизить расход цемента и улучшить прочностные характеристики бетонной смеси.

*Топливный шлак.* Доля частиц на сите 10 мм снизилась с 12% до 3,7%, а на 5 мм – с 50,2% до 25,3%. Фракции 2,5 мм и 1,25 мм стали более сбалансированными (20,1% и 15,1%), а мелкие фракции оптимизированы для почти полного заполнения.

Таким образом, оптимизация гранулометрического состава для всех рассмотренных материалов обеспечивает более равномерное распределение фракций, улучшает упаковку зерен и снижает пустотность. Это способствует уменьшению расхода цемента, повышению прочности и долговечности мелкозернистых бетонов, что ведёт к улучшению технологических и экономических показателей конечного продукта.

**Пятая глава «Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих веществах заполнителе из топливных шлаков»** посвящена разработке составов МЗБ на основе вяжущих с ЗГУ, ЗШС и шлака. Предварительные исследования свойств МЗБ проводились на семи составах мелкозернистого бетона с различным видами композиционных вяжущих (табл. 5).

№ состава	Вяжущее : Песок: Топливный шлак (фракции)	Соотношение В: Т шлак
1	(ЦЗВ <sub>и</sub> , ЦЗШВ <sub>и</sub> , ЦШВ <sub>и</sub> ) :Ш (5-10мм) :П -	1:2:1
2	(ЦЗВ <sub>и</sub> , ЦЗШВ <sub>и</sub> , ЦШВ <sub>и</sub> ) : Ш (5-10мм )	1:2
3	(ЦЗВ <sub>и</sub> , ЦЗШВ <sub>и</sub> , ЦШВ <sub>и</sub> ) : Ш (5-10мм)	1:3
4	(ЦЗВ <sub>и</sub> , ЦЗШВ <sub>и</sub> , ЦШВ <sub>и</sub> ) : Ш (0-5мм)	1:3
5	ЦЗШВ <sub>и</sub> :Ш (5-10мм) :Ш (0-5мм)-	1:3:1
6	(ЦЗВ <sub>и</sub> , ЦЗШВ <sub>и</sub> , ЦШВ <sub>и</sub> ) : Ш (смесь 0-5 и 5-10 мм)	1:2
7	(ЦЗВ <sub>и</sub> , ЦЗШВ <sub>и</sub> , ЦШВ <sub>и</sub> ) : Ш (смесь фр.0-5 и 5-10 мм)	1:3

5.1. Мелкозернистые бетоны на основе композиционного вяжущего с золой гидроудаления (ЦЗВ<sub>и</sub>) и заполнителе из шлака. Предварительные исследования семи различных составов показали, что максимальная прочность после ТВО обеспечивается в составе (6)  $R_{сж}^{ТВО} = 24,3$  МПа, где в качестве заполнителя использовалась смесь фракций шлака (5-10 мм) при соотношении 1:2. Для состава (7) при соотношении 1:3 прочность составила  $R_{сж}^{ТВО} = 20,3$  МПа. Повышение ЗГУ в вяжущем до 30% приводит к сбросу прочности (рис. 12).

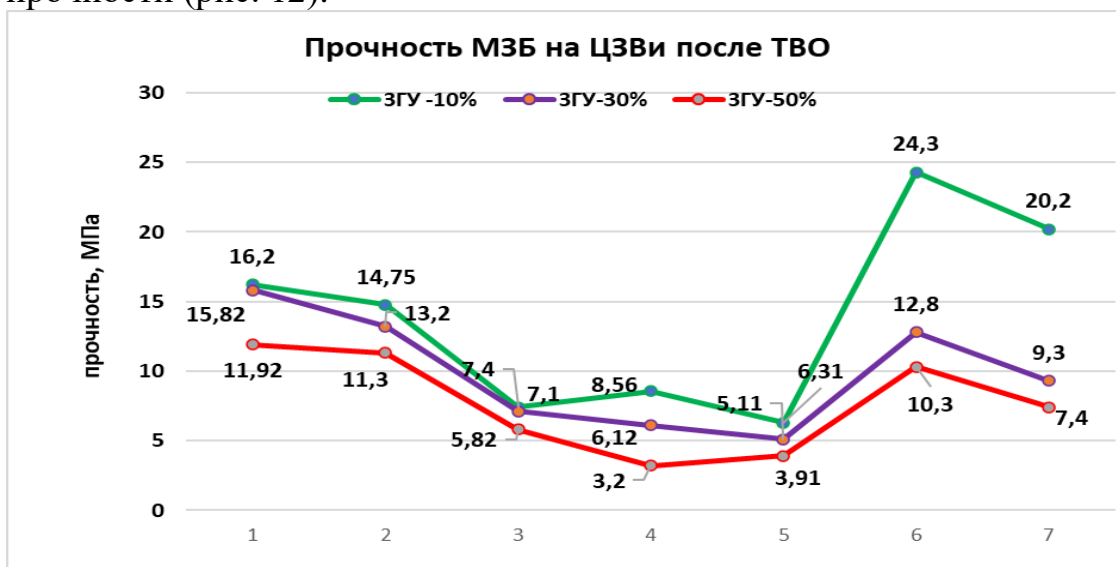


Рисунок 12 – Прочность МЗБ после ТВО на вяжущем ЦЗВ<sub>и</sub>

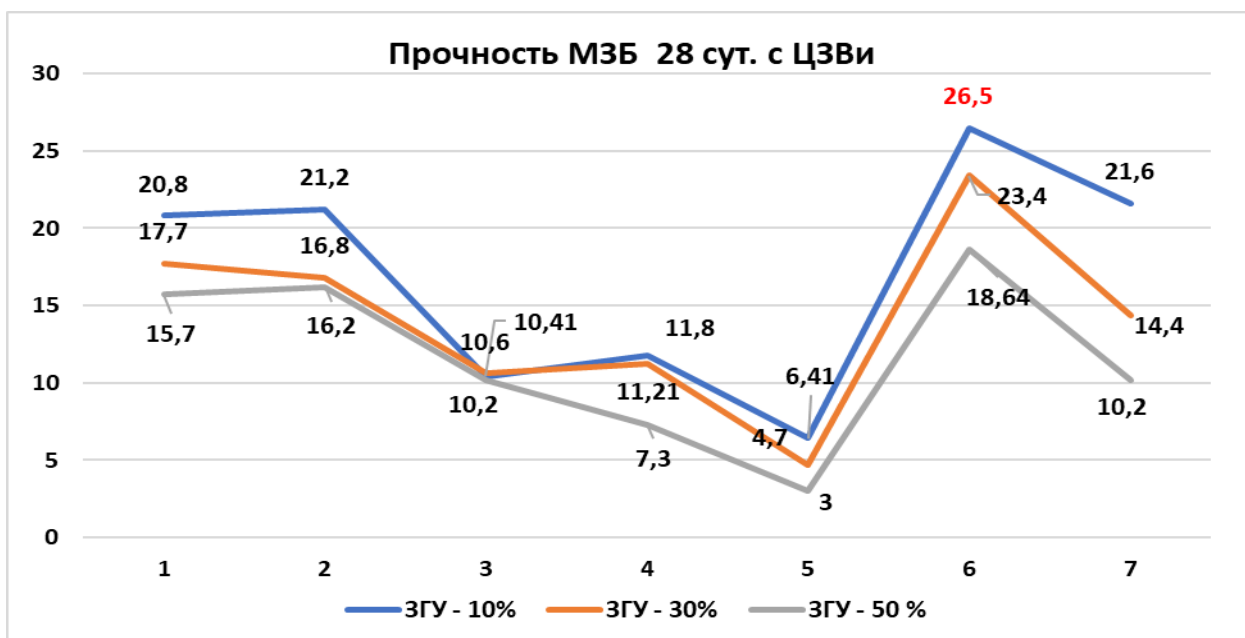


Рисунок 13 – Прочность после 28 суток МЗБ на вяжущем ЦЗВ<sub>и</sub> (10, 30, 50%)

Высокая прочность МЗБ  $R_{сж}^{28} \geq 25$  МПа обеспечивается при длительном твердении 28 суток в составе (6) на вяжущем с содержанием 10% золы ГУ и заполнителе смеси фракций шлака 5-10 и 0-5, что обусловлено пуццолановой активностью золы ГУ и оптимальной упаковкой мелкого

заполнителя. При содержании ЗГУ 30%  $R_{сж}^{28} = 23,4$  МПа и 50%  $R_{сж}^{28} = 18,64$  МПа (рис. 13).

5.2 Мелкозернистые бетоны на основе композиционных вяжущих с золошлаковой смесью (ЦЗШВ<sub>и</sub>) и заполнителя из шлака на разных составах. Анализ физико-механических свойств МЗБ семи составов показал, что наилучшие показатели получены для составов (1) и (6). В (1) составе при 10% содержании ЗШС  $R_{сж}^{тво} = 17,12$  МПа и  $R_{сж}^{28} = 22,5$  МПа. Соотношение ЦЗШВ<sub>и</sub> :Ш (5-10мм) :П - 1:2:1 (на заполнителе – 2 части топливного шлака крупной фракции и 1 части тонкого природного песка) (рис.14).

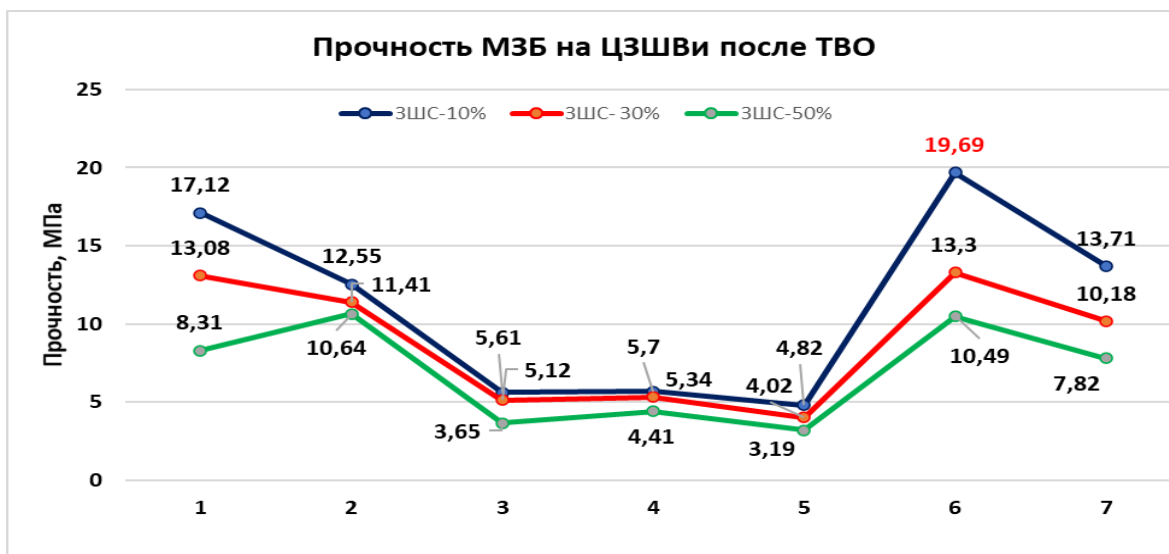


Рисунок 14 – Прочность МЗБ после ТВО на вяжущем ЦЗШВ<sub>и</sub>. Для МЗБ состава (6) наибольшая прочность обеспечивается после ТВО  $R_{сж}^{тво} = 19,69$  МПа и после 28 суток  $R_{сж}^{28} = 20,91$  МПа, где заполнитель смесь фракций шлака (0-5 и 5-10 мм) и соотношение 1:2. При 30% в вяжущем  $R_{сж}^{28} = 16,1$  МПа (рис.15).

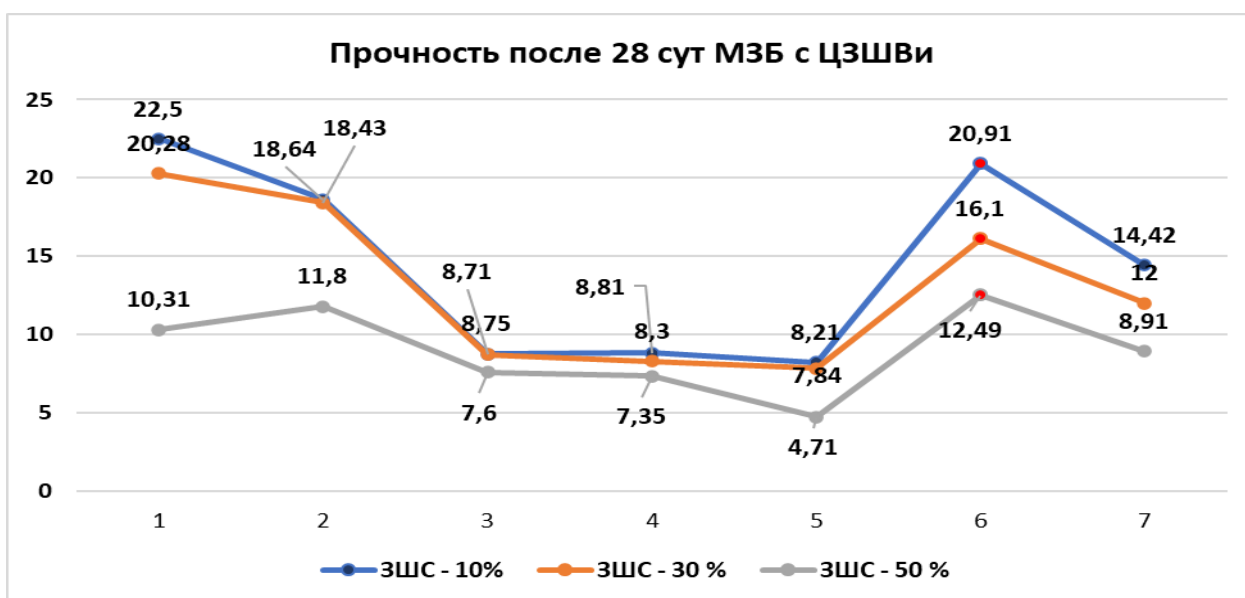


Рисунок 15 – Прочность МЗБ на ЦЗШВ<sub>и</sub> после 28 суток твердения.

Для МЗБ с вяжущим ЦШВ<sub>и</sub> наибольшая прочность обеспечивается при соотношении ЦШВ<sub>и</sub>:Ш(5-10мм):П = 1:2:1. При 30% ЗШС прочность  $R_{сж}^{28} = 20,28$  МПа равнозначна для состава (6) с ЗШС 10%.

5.3 Мелкозернистые бетоны на основе цементношлаковых вяжущих (ЦШВ<sub>и</sub>) и заполнители из шлака также были исследованы на семи составах.

Так прочность для МЗБ состава (1) после ТВО при 10% шлака в ЩЦВи составляет  $R_{сж}^{ТВО} = 10,31$  МПа; при 30%  $R_{сж}^{ТВО} = 9,2$  и при 50%  $R_{сж}^{ТВО} = 7,32$  МПа. Здесь показано (рис. 16), что при увеличении содержания шлака от 10 до 50%  $R_{сж}^{ТВО}$  снижается почти на 29 %.

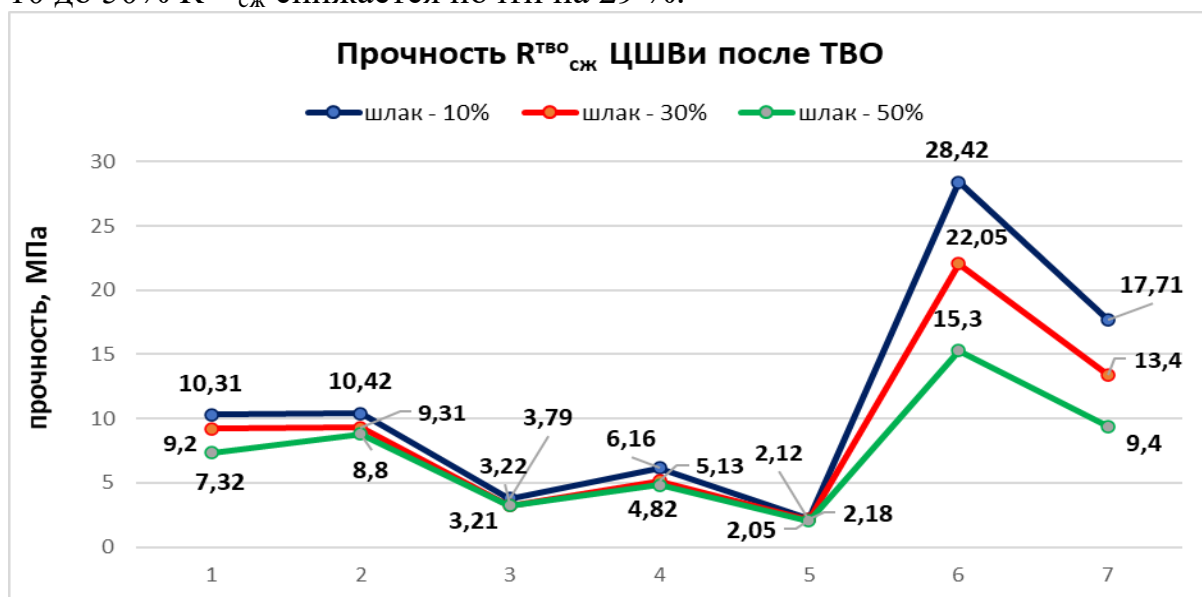


Рисунок 16 – Прочность МЗБ на вяжущем (ЦШВ<sub>и</sub>) после ТВО

На рис. 16 видно, что состав (6) показывает максимальную прочность  $R_{сж}^{ТВО} = 28,42; 22,05$  и  $15,3$  МПа. Для состава (7) прочность составила  $R_{сж}^{ТВО} = 17,71; 13,4$  и  $9,4$  МПа.

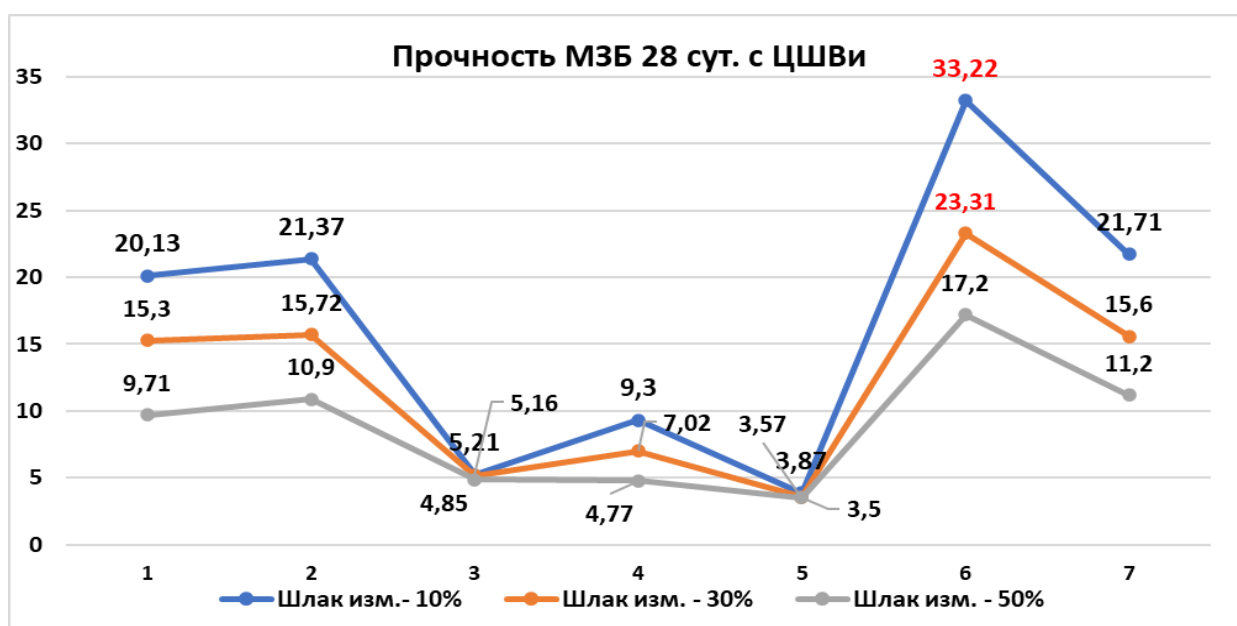


Рисунок 16 – Прочность МЗБ на вяжущем (ЦШВ<sub>и</sub>) после 28 суток

Прочность МЗБ после 28 суток  $R^{28}_{сж} = 33,22; 23,31$  и  $17,2$  МПа плотностью 1880; 1800 и 1760 кг/м<sup>3</sup> соответственно. На рис. 16 видно, что состав (6) показывает максимальную прочность из семи составов МЗБ при наполнении вяжущего топливным шлаком 10, 30 и 50%. Для состава (7)  $R^{тво}_{сж} = 21,71; 15,6$  и  $11,2$  МПа для плотности МЗБ 1870; 1700 и 1720 кг/м<sup>3</sup> соответственно. Наиболее эффективным по показателям прочности и по степени использования топливного шлака является состав (6).

#### 5.4 Оптимизация состава и оценка эффективности использования топливных отходов в мелкозернистом бетоне.

На предварительном этапе исследований прочностных свойств семи различных составов МЗБ установлено, что наиболее приемлемыми оказались 1, 6 и 7 составы. Дальнейшие уточняющие исследования проводились по результатам двухфакторного эксперимента. В качестве первого фактора выбран -  $X_1$  количество наполнителя в цемент (зола гидроудаления, золошлаковая смесь и топливный шлак  $30 \pm 20$  %) и второй -  $X_2$ - вид вяжущего (ЦЗВ<sub>и</sub>, ЦЗШВ<sub>и</sub> и ШЦВ<sub>и</sub>). В качестве выходных параметров выбраны:  $Y_1$ - плотность МЗБ, кг/м<sup>3</sup>,  $Y_2$  -  $R^{тво}_{сж}$ , МПа и  $Y_3$ - и  $R^{28сут}_{сж}$  прочность после 28 суток. Обработка результатов эксперимента позволила получить экспериментально-статистические модели второго порядка свойств МЗБ (5.1-5.3) и их графические образы для составов № 1, 6 и 7 (рис. 17-20).

$$Y_1 (\rho) = 1886,67 - 85,0 x_1 - 25,0x_1^2 - 58,33 x_2 + 15,0 x_2^2 + 10,0 x_1x_2 \quad (5.1)$$

$$Y_2 (R^{тво}_{сж}) = 13,40 - 2,68 x_1 - 0,84x_1^2 - 2,85x_2 - 1,04 x_2^2 + 0,32 x_1x_2 \quad (5.2)$$

$$Y_3 (R^{28сут}_{сж}) = 18,52 - 4,62 x_1 - 1,24x_1^2 - 1,51x_2 - 1,14 x_2^2 - 1,33 x_1x_2 \quad (5.3)$$

По модели (5.1) плотности МЗБ состава №1 видно, она в большей степени зависит от количества наполнителя ( $x_1$ ) отходов ТЭС в вяжущем и снижается по мере его накопления ( $b_1 = -85,0$ ). Второй по значимости идет фактор ( $x_2$ ), он показывает влияние на плотность МЗБ различных вяжущих ( $b_2 = -58,33$ ).

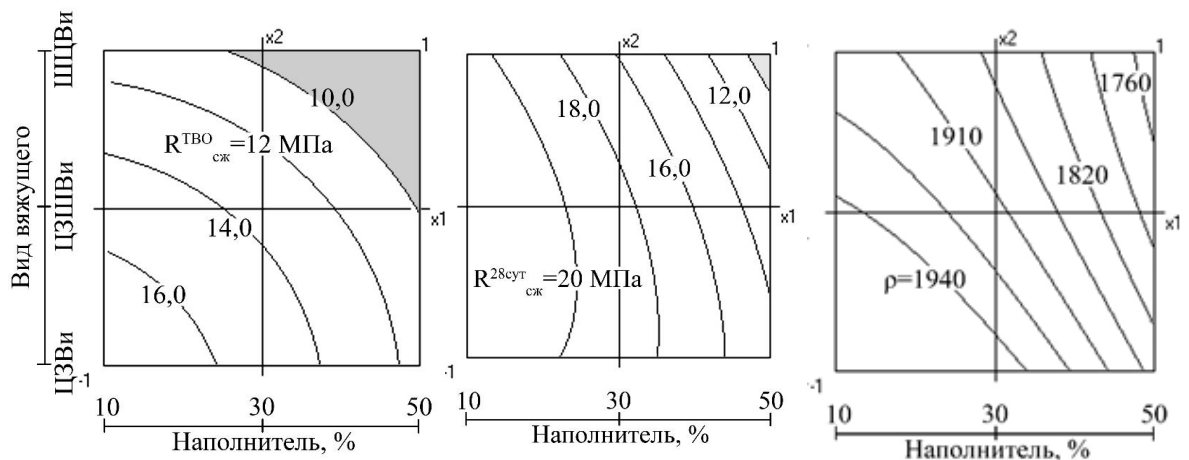


Рисунок 17 – МЗБ состав № 1: а) Прочность после ТВО  $R^{тво}_{сж}$ , б) после 28 суток  $R^{28сут}_{сж}$ , в) плотность ( $\rho$ ).

На прочность МЗБ после ТВО (5.2) влияет равнозначно количество наполнителя ( $b_1 = -2,68$ ) и вид вяжущего ( $b_2 = -2,85$ ). Та же закономерность

наблюдается и для прочности МЗБ после 28 суток твердения (5.3). Но влияние фактора  $x_1$  - количество наполнителя немного сильнее ( $b_1 = -4,62$ ) чем вид вяжущего ( $b_2 = -1,51$ ). Наглядно влияние двух факторов на показатели МЗБ состава №1 можно видеть на рис. 17.

Таким образом, в составе №1 лучшие результаты показывает вяжущее с использованием золы гидроудаления и золошлаковой смеси (ЗШС). МЗБ на вяжущем с ЗШС 10-50 % набирает прочность после ТВО в пределах 15-10 МПа. На вяжущем с золой ГУ в пределах 18-12 МПа. Та же тенденция сохраняется и после твердения МЗБ 28 суток, здесь  $R_{сж}^{28сут}$  находится в пределах 22 -14 МПа.

МЗБ состава № 6 представлен соотношением вяжущее : наполнитель в виде шлака мелкой фракции (шлак фр. 0-5мм) при соотношении = 1:2.

$$Y_1 (\rho) = 1820 - 38,33 x_1 - 5,0 x_1^2 - 10,33 x_2 - 15,0 x_1 x_2 \quad (5.4)$$

$$Y_2 (R_{сж}^{ТВО}) = 13,13 - 6,05 x_1 + 2,33 x_1^2 + 3,06 x_2 + 4,37 x_2^2 + 0,22 x_1 x_2 \quad (5.5)$$

$$Y_3 (R_{сж}^{28сут}) = 16,13 - 5,38 x_1 + 0,56 x_1^2 + 0,87 x_2 + 7,21 x_2^2 - 2,04 x_1 x_2 \quad (5.6)$$

По модели (5.4) установлено, что плотность зависит от количества наполнителя в вяжущем - фактор ( $x_1$ ) и линейный эффект при нем соответственно ( $b_1 = - 38,33$ ). Второй по степени влияния на плотность МЗБ вид вяжущего - фактор ( $x_2$ ). Линейный коэффициент ниже и составляет ( $b_2 = - 10,33$ ). Прочность  $R_{сж}^{ТВО}$  МЗБ после ТВО (5.5) в первую очередь зависит от количества наполнителя ( $b_1 = - 6,05$ ) и затем вид вяжущего ( $b_2 = 3,06$ ). Прочность МЗБ после 28 суток твердения (4.9) в большей степени зависит от количества наполнителя  $x_1$  и его влияние сильнее ( $b_1 = -5,38$ ) чем вид вяжущего ( $b_2 = 0,87$ ).

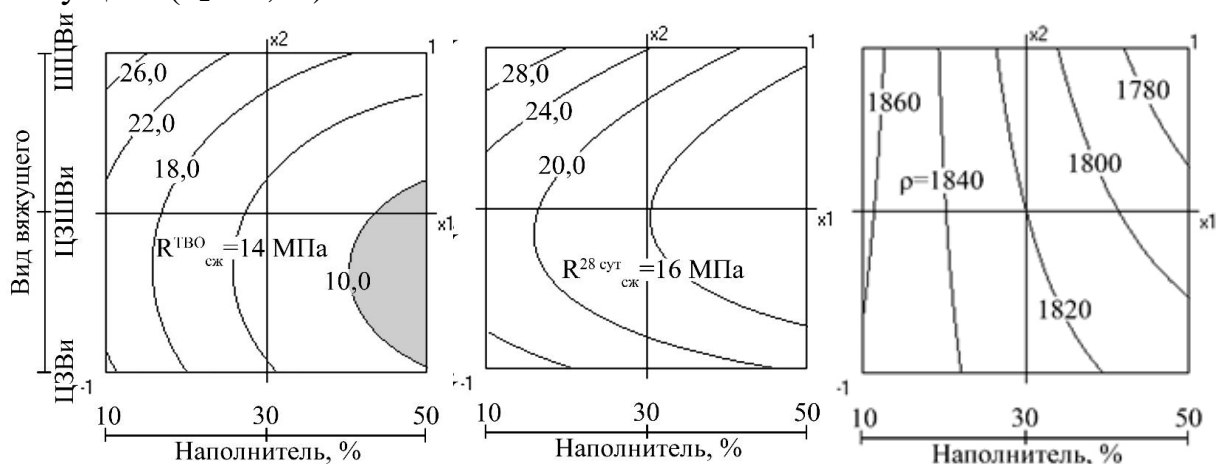


Рисунок 18– МЗБ состав № 6: а) Прочность после ТВО  $R_{сж}^{ТВО}$ , б) после 28 суток  $R_{сж}^{28сут}$ , в) плотность ( $\rho$ ). (вяжущее):Ш(шлак фр. 0-5,5-10мм) = 1:2.

На рис. 18 видно, что наибольшие показатели прочности МЗБ после ТВО  $R_{сж}^{ТВО}$  и после 28 суток  $R_{сж}^{28сут}$  обеспечиваются для бетонов на вяжущем ЦЗВи (с золой ГУ) и ШЦВи (с шлаком), но при нижних уровнях 10%. Но даже при 40% наполнителя обеспечивается  $R_{сж}^{28сут} \geq 20,0$  МПа и плотности в пределах 1800-1820 кг/м³.

МЗБ состава № 7 представлен соотношением вяжущее : наполнитель в виде шлака фракции (шлак фр. 0-5,5-10 мм) при соотношении 1: 3.

$$Y_1 (\rho) = 1765,56 - 41,67 x_1 + 21,67 x_1^2 - 18,33 x_2 + 1,67 x_2^2 - 32,5 x_1 x_2 \quad (5.7)$$

$$Y_2 (R^{TBO}_{сж}) = 9,42 - 4,45 x_1 + 1,73x_1^2 + 0,62 x_2 + 2,32 x_2^2 + 1,10 x_1x_2 \quad (5.8)$$

$$Y_3 (R^{28сут}_{сж}) = 11,33 - 4,57 x_1 + 0,67 x_1^2 + 0,39 x_2 + 4,01 x_2^2 + 0,22 x_1x_2 \quad (5.9)$$

По модели (5.7) видно, что плотность МЗБ в большей степени зависит от количества наполнителя ( $x_1$ ) отходов ТЭС в вяжущем и снижается по мере его накопления ( $b_1 = - 41,67$ ). Второй по значимости фактор ( $x_2$ ), который указывает на снижение плотности от вида вяжущего ( $b_2 = - 18,33$ ).

После ТВО прочность МЗБ (5. 8) зависит от количества наполнителя ( $b_1 = - 4,45$ ), которая понижается при верхних показателях, а вид вяжущего существенно не меняет этот показатель ( $b_2 = 0,62$ ).

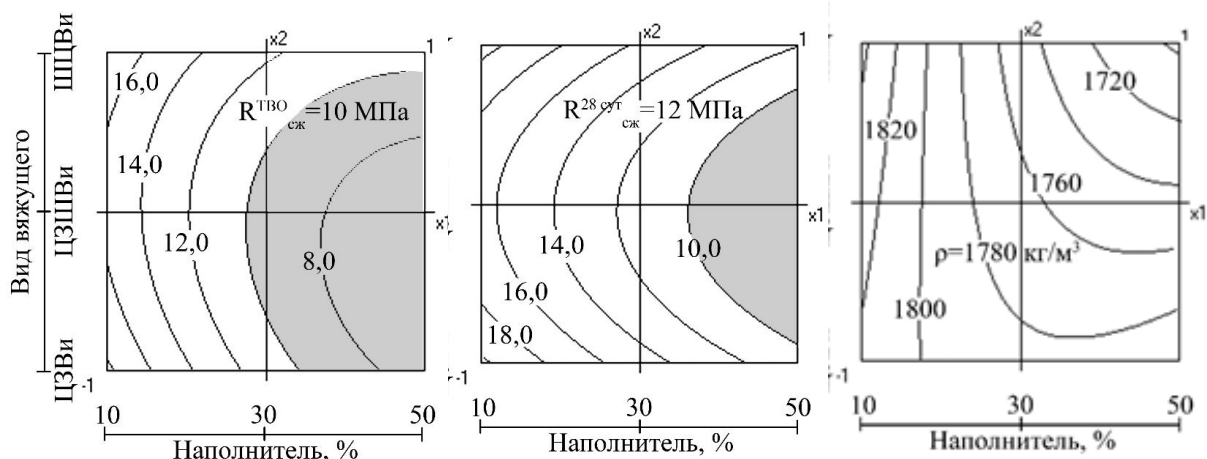


Рисунок 19 – МЗБ состав 7: а) прочность  $R^{TBO}_{сж}$  после ТВО, б)  $R^{28сут}_{сж}$  после 28 суток; в) плотность ( $\rho$ ). (Вяжущее) : Ш(шлак фр. 0-5мм) = 1:3.

После 28 суток твердения (5.12) влияние фактора  $x_1$  ( $b_1 = -4,57$ ) сильнее, чем вид вяжущего  $x_2$  ( $b_2 = +0,39$ ). Наглядно влияние двух факторов на показатели МЗБ состава №7 показано на рис. 19. В составе 7 содержание мелкого шлакового заполнителя увеличено, что привело к снижению плотности МЗБ до 1720-1820 кг/м<sup>3</sup> и прочности до 10- 18 МПа. И наибольшие прочностные показатели МЗБ  $R^{28}_{сж} = 20,0$  МПа обеспечиваются только при минимальном 10% содержании наполнителя в вяжущих ЦЗВи и ШЦВи. В таблице 6 представлены составы МЗБ классов В7,5; В10; В15 на композиционных вяжущих на 1 м<sup>3</sup>.

№ Состав	Вид вяжущего	Марка/класс бетона	Плотность МЗБ $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Содержание ПЦ, м <sup>3</sup>	Содержание ПЩ, кг	содержание наполнителя, м <sup>3</sup> / (%)	содержание наполнителя, кг	количество мелкого заполнителя				
								топливный шлак, м <sup>3</sup>	топливный шлак, кг	песок, м <sup>3</sup>	песок, кг	
1	<b>Состав № 1 МЗБ на Вяжущем:Ш(шлак фр. 5-10мм):П(песок) = 1:2:1</b>											
	ЩЦВи	200 (В15)	1920	0,225	293	0,025 (10)	30	0,5	470	0,225	304	
		150 (В10)	1835	0,175	228	0,075 (30)	89	0,5	470	0,225	304	
100 (В 7,5)		1760	0,15	195	0,100 (40)	118	0,5	470	0,225	304		

6	ЦЗШВи	200 (B15)	1925	0,175	228	0,075(30)	62	0,5	470	0,225	304	
		150 (B10)	1835	0,15	195	0,100 (40)	82	0,5	470	0,225	304	
		100 (B 7,5)	1790	0,125	163	0,125 (50)	103	0,5	470	0,225	304	
	ЦЗВи	200 (B15)	1940	0,19	243	0,063(25)	51	0,5	470	0,225	304	
		150 (B10)	1910	0,15	195	0,100 (40)	80	0,5	470	0,225	304	
		100 (B7,5)	1760	0,09	117	0,163(65)	130	0,75	470	0,225	304	
		100 (B7,5)	1730	0,12	150	0,214(65)	171	0,66	620	—	—	
	<b>Состав № 6 МЗБ на композиционном вяжущем:Ш(шлак фр. 0-5, 5-10мм)- 1:2</b>											
	6	ШЩВи	300 (B22,5)	1860	0,3	390	0,033(10)	38,9	0,67	710	—	—
			250 (B20)	1840	0,28	364	0,05 (15)	59	0,67	710	—	—
			200 (B15)	1780	0,198	257,4	0,132(40)	156	0,67	710	—	—
			150 (B10)	1760	0,165	214,5	0,165(50)	195	0,67	710	—	—
100 (B 7,5)			1750	0,132	171,6	0,198(60)	234	0,67	710	—	—	
ЦЗШВи		200 (B15)	1850	0,29	377	0,04(12)	32,5	0,67	710	—	—	
		150 (B10)	1810	0,224	291,2	0,105(32)	86,1	0,67	710	—	—	
		100 (B 7,5)	1790	0,172	223,6	0,158(48)	130	0,67	710	—	—	
ЦЗВи		200 (B15)	1810	0,18	235	0,148(45)	118	0,67	710	—	—	
		150 (B10)	1800	0,132	172	0,198(60)	158	0,67	710	—	—	
		100 (B 7,5)	1780	0,12	150	0,214(65)	171	0,67	710	—	—	
<b>Состав № 7 МЗБ на композиционном вяжущем:Ш (шлак фр. 0-5, 5-10мм) = 1:3</b>												
7		ШЩВи	200 (B15)	1840	0,222	288,6	0,027(11)	31,9	0,75	795	—	—
			150 (B10)	1740	0,172	223,6	0,077(31)	90,9	0,75	795	—	—
			100(B 7,5)	1700	0,12	156	0,130(52)	153	0,75	795	—	—
	ЦЗШВи	200 (B15)	1840	0,23	299	0,02(8)	16,4	0,75	795	—	—	
		150 (B10)	1810	0,175	227,5	0,075(30)	61,5	0,75	795	—	—	
		100(B 7,5)	1750	0,122	158,6	0,127(51)	104	0,75	795	—	—	
	ЦЗВи	200 (B15)	1810	0,222	288,6	0,027(11)	21,6	0,75	795	—	—	
		150 (B10)	1790	0,175	227,5	0,075(30)	60	0,75	795	—	—	



	100(В 7,5)	1780	0,1	130	0,15 (60)	120	0,75	795	—	—
--	------------	------	-----	-----	-----------	-----	------	-----	---	---

### 5.5. Оптимизация состава мелкозернистого бетона на вяжущем с золой рисовой шелухи и заполнителе с золой гидроудаления

Роль наполнителя ЗРШ и заполнителя ЗГУ в формировании структуры МЗБ различна и соответственно их участие как в химических процессах (взаимодействие с продуктами гидратации цемента) так и физико-химических явлениях (влияние поверхностной энергии частиц добавок ЗРШ и ЗГУ). В рамках исследования возможности использования техногенных отходов ЗГУ и ЗРШ в качестве компонентов мелкозернистого бетона выполнен трёхфакторный эксперимент по плану В<sub>3</sub>. Входные факторы: X<sub>1</sub> – содержание ЗГУ от песка (15 ± 15 %), X<sub>2</sub> – содержание ЗРШ от цемента (4 ± 4 %), X<sub>3</sub> – количество пластификатора Neolit 303 (0.4 ± 0.4 % от массы вяжущего). Для 15 составов осадка конуса бетонной смеси 106 – 115 мм, а водовяжущее отношение варьировалось от 0.4 до 0.8. Нижний уровень факторов (нулевая концентрация) позволил сравнить контрольный и модифицированный МЗБ. Контролируемыми параметрами являлись прочность на изгиб и сжатие (R<sub>сж</sub>, R<sub>изг</sub>) в 7, 28 и 90 сутках, а также плотность МЗБ. По результатам эксперимента методом наименьших квадратов построены экспериментально-статистические модели, описывающие зависимость прочностных свойств от содержания золы ГУ, золы РШ и пластификатора.

По результатам эксперимента методом наименьших квадратов рассчитаны экспериментально-статистические модели (ЭС-модели) прочностных свойств, описывающих их зависимость от содержания золы ГУ, Золы РШ и химической добавки в МЗБ (5.10-).

$$Y_1 (R^7_{изг}) = 7,27 - 2,86 x_1 + 0,83 x_1^2 + 0,98 x_1 x_2 + 0,94 x_1 x_3 - 1,06 x_2 + 2,21 x_2^2 + 0,37 x_2 x_3 - 0,26 x_3 - 1,88 x_3^2 \quad (5.10)$$

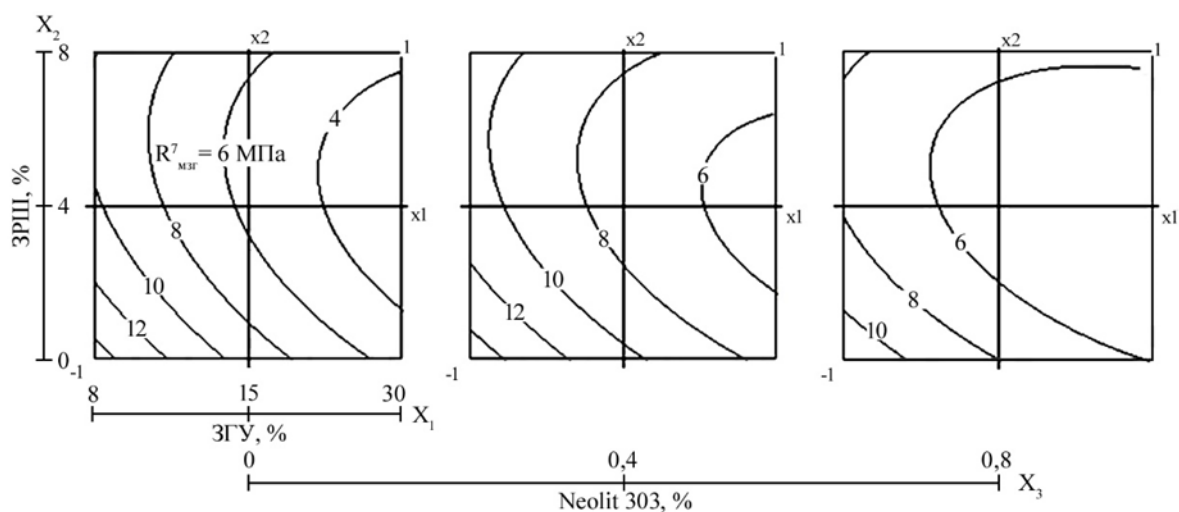


Рис. 20. Номограммы прочности МЗБ  $R^7_{изг}$  при содержании Neolit 303 – 0; 0,4 и 0,8 % ( $x_3 = -1; 0; 1$ )

$$Y_2 (R^{28}_{изг}) = 12,28 - 1,57 x_1 + 0,25 x_1^2 + 0,69 x_1 x_2 + 1,61 x_1 x_3 - 1,33 x_2 + 0,69 x_2^2 + 1,0 x_2 x_3 - 0,07 x_3 + 0,05 x_3^2 \quad (5.11)$$

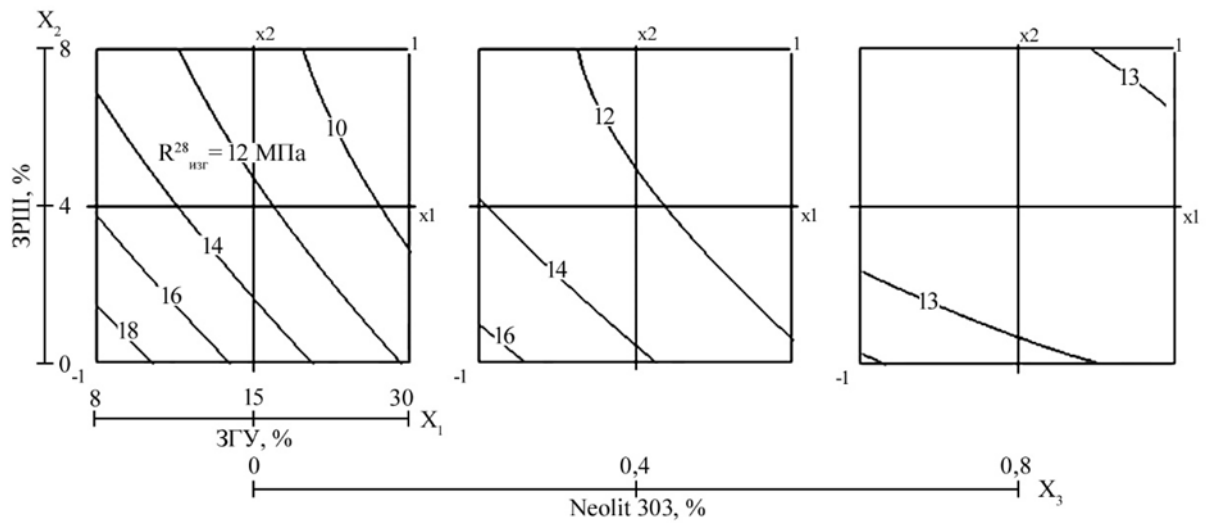


Рис. 21. Номограммы прочности МЗБ  $R^{28}_{изг}$  при содержании Neolit 303 – 0; 0,4 и 0,8 % ( $x_3 = -1; 0; 1$ )

$$Y_3 (R^{90}_{изг}) = 17,57 - 2,39 x_1 + 1,02 x_1^2 - 2,81 x_1 x_2 - 0,9 x_1 x_3 - 0,51 x_2 + 0,36 x_2^2 - 1,1 x_2 x_3 + 1,97 x_3 - 0,5 x_3^2 \quad (5.12)$$

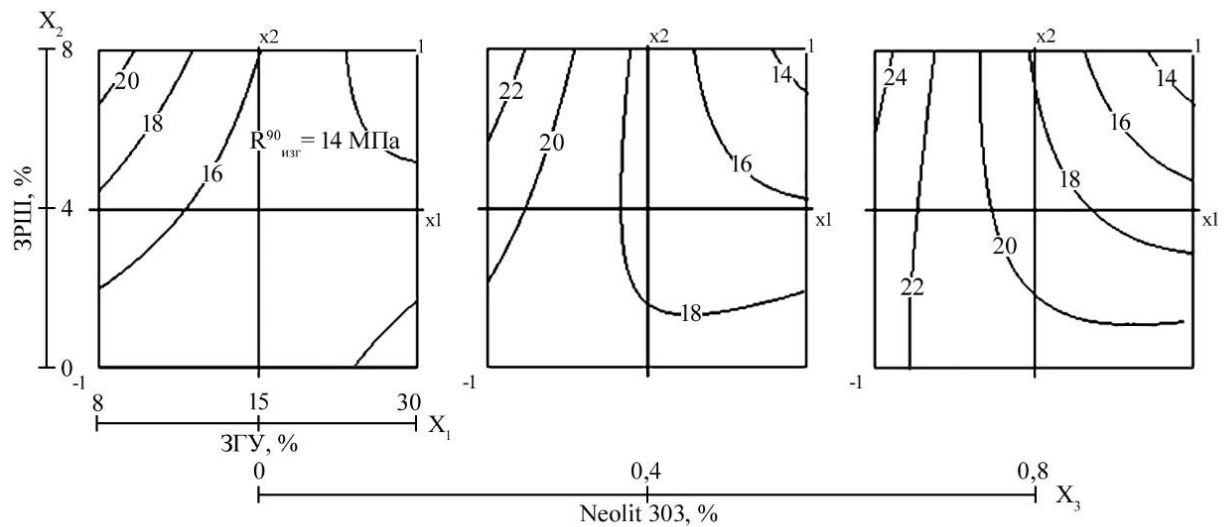


Рис. 22. Номограммы прочности МЗБ  $R^{90}_{изг}$  при содержании Neolit 303 – 0; 0,4 и 0,8 % ( $x_3 = -1; 0; 1$ )

$$Y_4 (R^7_{сж}) = 9,51 - 4,58 x_1 + 1,32 x_1^2 + 0,25 x_1 x_2 + 0,91 x_1 x_3 - 1,25 x_2 + 2,37 x_2^2 + 0,26 x_2 x_3 - 0,39 x_3 - 0,63 x_3^2 \quad (5.13)$$

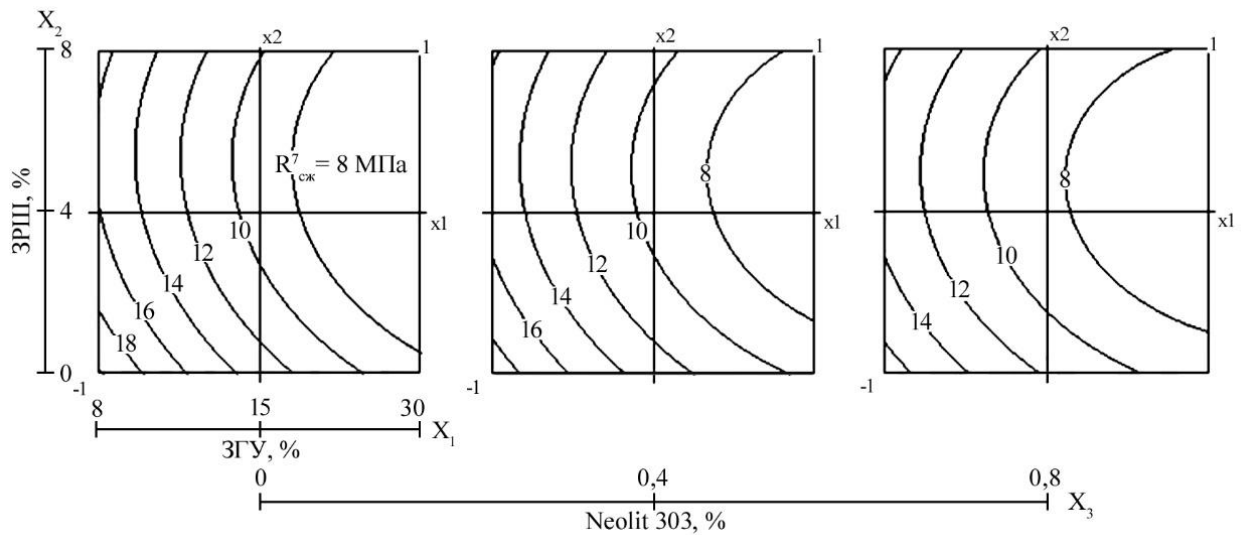


Рис. 23. Номограммы прочности МЗБ  $R^7_{сж}$  при содержании Neolit 303 – 0; 0,4 и 0,8 % ( $x_3 = -1; 0; 1$ )

$$Y_5 (R^{28}_{сж}) = 19,28 - 4,73 x_1 - 1,86 x_1^2 + 2,54 x_1 x_2 + 0,35 x_1 x_3 - 2,83 x_2 + 4,40 x_2^2 + 0,36 x_2 x_3 + 0,63 x_3 - 3,6 x_3^2 \quad (5.14)$$

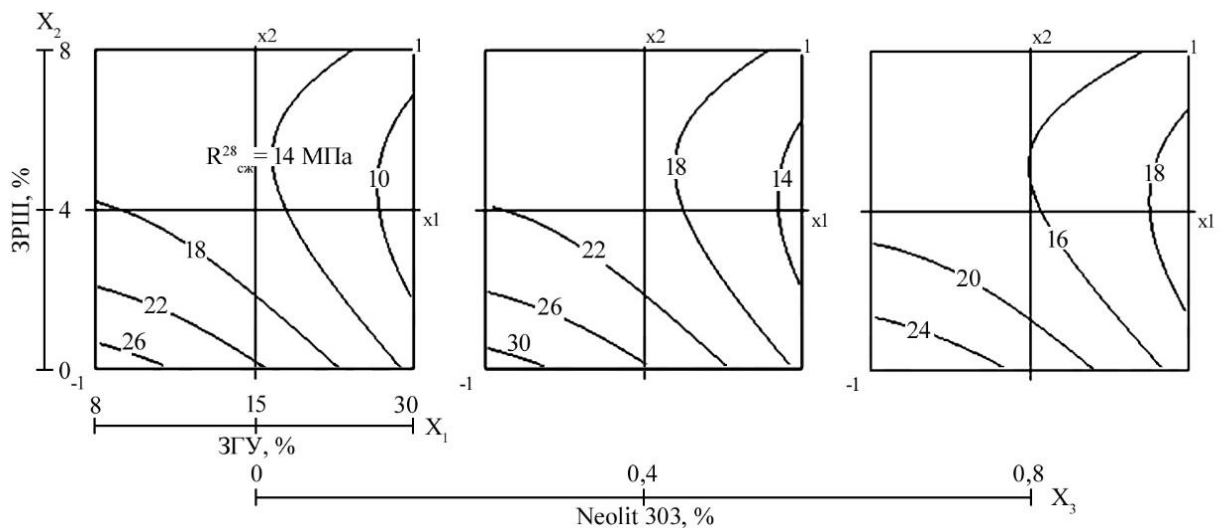


Рис. 24. Номограммы прочности МЗБ  $R^{28}_{сж}$  при содержании Neolit 303 – 0; 0,4 и 0,8 % ( $x_3 = -1; 0; 1$ )

$$Y_6 (R^{90}_{сж}) = 28,55 - 4,71 x_1 - 2,36 x_1^2 - 0,62 x_1 x_2 + 1,0 x_1 x_3 - 1,58 x_2 - 0,22 x_2^2 - 0,98 x_2 x_3 + 1,62 x_3 - 1,53 x_3^2 \quad (5.15)$$

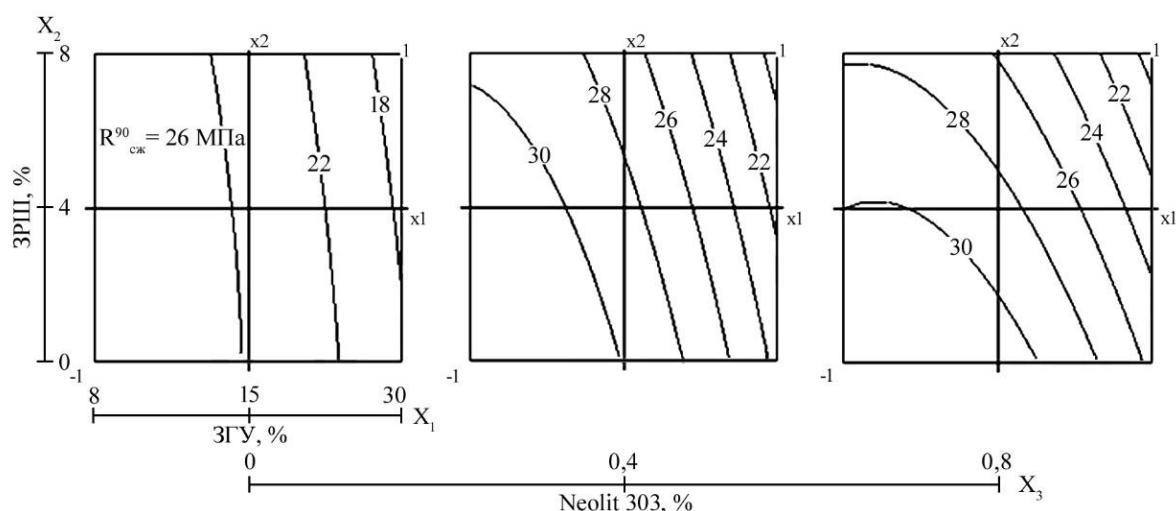


Рис. 25. Номограммы прочности МЗБ  $R_{сж}^{90}$  при содержании Neolit 303 – 0; 0,4 и 0,8 % ( $x_3 = -1; 0; 1$ )

$$Y_7 (p^{28}) = 2,25 - 0,17 x_1 - 0 x_1^2 + 1,02 x_1 x_2 + 0 x_1 x_3 - 0,42 x_2 - 0 x_2^2 - 0 x_2 x_3 - 0,01 x_3 - 1,53 x_3^2 \quad (5.16)$$

Полученные полиномиальные уравнения регрессии отражают взаимосвязь прочностных свойств МЗБ от содержания наполнителя ЗРШ в цементе, мелкого заполнителя в виде ЗГУ в составе песка и химической добавки в разные сроки твердения (7, 28 и 90 суток). На рис. 20 показано изменение прочности  $R_{сж}^{90}$  МЗБ при изменении факторов  $x_1$  и  $x_2$  и фиксированном содержании добавки Neolit 303 0 и 0,8%.

Прочность  $R_{сж}^{90} = 30$  МПа соответствует области рецептур ( $X_1 = 0...7$  %;  $X_2 = 0...20$  %;  $X_3 = 0,8$  %). Практически во всей области факторного пространства при условии, что пластификатор находится в пределах 0,4...0,8 % ( $x_3 = 0...1$ ) прочность МЗБ обеспечивается в пределах  $R_{сж}^{90} = 20...30$  МПа.

### 5.5.1 Микроструктура мелкозернистого бетона с золой рисовой шелухи и золы гидроудаления

Зола ГУ в бетонах способствует формированию плотной структуры межзернового пространства заполнителей и менее дефектной контактной зоны заполнителей с цементным камнем. Это позволяет объяснить более высокую степень гидратации цемента и реакцией между гидроксидом кальция и компонентами золы с образованием дополнительного количества геля из гидросиликата кальция со скрытокристаллической структурой. Вокруг зольных частиц возникает оболочка новообразований гидросиликатов кальция. Смешивание золы гидроудаления ТЭС в объеме 15% и золы рисовой шелухи в объеме 8% в составе мелкозернистого бетона может оказать влияние на его микроструктуру. Добавка золы гидроудаления и золы рисовой шелухи может внести в бетон дополнительные минеральные фазы. Эти фазы могут влиять на микроструктуру, обеспечивая разнообразие кристаллических и аморфных компонентов.

Присутствие золы гидроудаления и золы рисовой шелухи может стимулировать процессы гидратации цемента. Это влияние может проявиться в мелкозернистой структуре, особенно вокруг частиц цемента.

## ГЛАВА 6. Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и природном заполнителе

6.1. Разработка составов мелкозернистого бетона на композиционном вяжущем с золошлаковой смесью и природном заполнителе заключалась в подборе оптимального состава песка и сравнения производственных составов ЗАО «Кум-Шагыл» тяжелого бетона классов В15 (200) с расходом цемента  $290 \text{ кг/м}^3$  и В20 (250) с расходом цемента  $340 \text{ кг/м}^3$  и марки по подвижности П2 (осадка конуса ОК 5–9 см). В исследованиях для получения МЗБ аналогичных марок использовались песок Аламедин ( $M_k=3,26$ ); песок Чу ( $M_k=2,55$ ); портландцемент М400 Д20; композиционное вяжущее ЦЗШВ<sub>и</sub> (30% ЗШС); суперпластификатор MasterGlenium 116 и 917.

Таблица 6 – Физико-механические свойства МЗБ на песке Аламедин

№ п/п	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона			Добавка, % от массы Ц		Осадка конуса, см	В/Ц	Прочность на сжатие, МПа		Плотность ( $\rho$ ), кг/см <sup>3</sup>	Водопоглощение (W), %
	КВВ/Ц	Вода, л	Песок, кг	Master Glenium 917	Master Glenium 116			После ТВО	28 суток		
1	0/520	280	1620	0	0	8,6	0,53	28,4	36,5	2240	2,23
2	440/308	270	1620	0	0	6,6	0,61	4,5	10,7	2080	1,92
3	360/252	250	1620	1,2	1,2	22	0,69	16,4	21	2125	1,79
4	440/308	210	1620	0	1	12,5	0,47	21,0	29,6	2245	1,55
5	440/308	260	1620	0,8	0	6,1	0,59	21,4	<b>31,5</b>	2255	1,99
6	440/308	245	1620	1	0	5,6	0,55	20,6	28,3	2175	2,07
7	<b>0/440</b>	265	1620	0	0	6,2	0,6	22,4	<b>37,5</b>	2280	1,53
8	<b>440/308</b>	215	1620	0	0,8	5,8	0,48	27,4	<b>37,8</b>	2270	1,38

\* ЦЗШВ<sub>и</sub>/Ц в числителе количество композиционного вяжущего вещества, в знаменателе содержание в нем цемента.

На 28 сутки равнозначная прочность наблюдались у составов № 1, 7 и 8. В составе МЗБ № 8 использовался песок с оптимальной гранулометрией заполнителя, который обеспечивает максимальную прочности  $R_{сж}^{28} = 37,8$  МПа и плотность  $2270 \text{ кг/м}^3$  при содержании ЦЗШВ  $308 \text{ кг/м}^3$ . Эталонный состав МЗБ без суперпластификатора № 7 имеет равнозначную плотность  $2280 \text{ кг/м}^3$  и прочность  $R_{сж}^{28} = 37,5$  МПа, но количество цемента  $440 \text{ кг/м}^3$ .

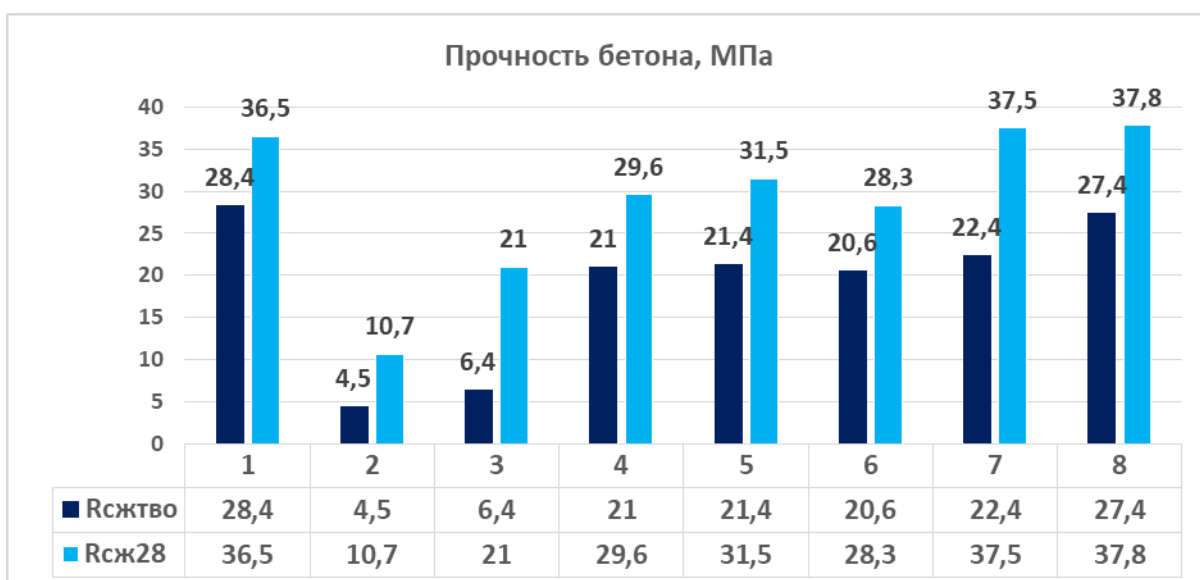


Рисунок 21 – Прочность  $R_{сж}^{тво}$  и  $R_{сж}^{28}$  мелкозернистого бетона на ЦЗШВ<sub>и</sub> (30% ЗШС) и песке составов 1-8

Следующая серия образцов МЗБ изготавливалась на вяжущем ЦЗШВ<sub>и</sub>, добавки содержанием добавки 0,8% Master Glenium 116 и песке ЧУ, которые после ТВО и через 28 суток имеют прочность  $R_{сж}^{28} = 41,3$  и  $R_{сж}^{тво} = 34,7$  МПа соответственно. В составе 3 повышенное содержание цемента, что отразилось на прочности МЗБ через 28 суток, где  $R_{сж}^{28} = 41,3$  МПа.

Таким образом, при сравнении заводских щебеночных бетонов и экспериментальных можно отметить, что для заводского бетона  $\approx 20$  МПа: требуется 340 кг цемента/м<sup>3</sup>. Экспериментальные составы достигают прочностей 20 МПа и выше при низком содержании цемента (252–308 кг/м<sup>3</sup>). Это свидетельствует о возможности сокращения расхода цемента при сохранении (а зачастую и повышении) прочности при оптимизации гранулометрического состава заполнителей (состав 8). Для высоких значений прочности содержания цемента (440–520 кг/м<sup>3</sup>). Можно констатировать, что экспериментальные составы обеспечивают получение МЗБ с прочностью 20 МПа при меньшем количестве цемента 252–308 кг/м<sup>3</sup>, что ниже заводского показателя (340 кг/м<sup>3</sup>). Это указывает на эффективность оптимизации рецептур за счет корректировки зернового состава песка и использования суперпластификаторов на карбоксилатной основе.

*6.2 Мелкозернистые бетоны на низкомарочном цементе с золошлаковой смесью и природном песке.* Использование высокомарочных цемента в МЗБ для малоэтажного строительстве является не эффективным и неоправданным. В связи с чем, при выполнении исследований для вяжущего был использован цемент не соответствующий заявленному качеству Д20М400, его активность составила 21,68 МПа. Такие цементы можно отнести к низкомарочным цементам и их использование возможно только при дополнительной активации. В данных исследованиях активация композиционного вяжущего заключалась в помолу низкомарочного цемента

с наполнителем из ЗШС в шаровой мельнице в течении 1,5 часа. Экспериментальные исследования проводились по плану В<sub>3</sub> при реализации 3-х факторного эксперимента переменными факторами выбраны: X<sub>1</sub>- композиционное вяжущее с ЗШС 10, 30 и 50 %; X<sub>2</sub> – расход вяжущего на 1м<sup>3</sup> МЗБ – 300, 350 и 400 кг; X<sub>3</sub> – суперпластификатор Глениум 116 - 0,8; 1,0 и 1,2 % от массы вяжущего. Количество природного песка месторождения Чу – остальное. Параметры оценки качества МЗБ: прочность при изгибе и сжатии образцов МЗБ в 7, 14 и 28 суточном возрасте, плотность и коэффициент размягчения. Распływ конуса бетонной смеси пределах 106 - 115 мм.

Результаты эксперимента позволили рассчитать экспериментально-статистические модели свойств МЗБ второго порядка (6.1-6.11) и их графические образы в виде номограмм (Рис. 6.7-6.8)

$$Y_2 (R^7_{изг}) = 4,82 - 1,118 x_1 - 0,86x_1^2 + 0,143 x_1x_2 + 0,461 x_1x_3 + 1,208x_2 + 1,105 x_2^2 + 0,151x_2x_3 - 0,868x_3 - 0,00x_3^2 \quad (6.1)$$

$$Y_3 (R^{14}_{изг}) = 6,933 - 0,935 x_1 - 0,804x_1^2 - 0,811 x_1x_2 - 0,065 x_1x_3 + 1,446x_2 - 0,359 x_2^2 + 0,445x_2x_3 - 0,08x_3 + 0,156x_3^2 \quad (6.2)$$

$$Y_4 (R^{28}_{изг}) = 8,0 - 1,52 x_1 + 0,22x_1^2 - 0,31 x_1x_2 - 0,51 x_1x_3 + 1,17x_2 + 0,18x_2^2 + 0,21x_2x_3 + 0,66x_3 + 0,24x_3^2 \quad (6.3)$$

$$Y_5 (R^7_{сж}) = 6,01 - 0,822 x_1 + 0,91x_1^2 - 2,048 x_1x_2 - 0,573 x_1x_3 + 3,726x_2 + 2,51 x_2^2 + 0,163x_2x_3 + 0,272x_3 - 0,01x_3^2 \quad (6.4)$$

$$Y_6 (R^{14}_{сж}) = 11,854 - 1,437 x_1 - 2,031x_1^2 + 1,019 x_1x_2 - 0,396 x_1x_3 + 1,973 x_2 + 2,489x_2^2 - 0,104 x_2x_3 + 0,667x_3 - 1,861 x_3^2 \quad (6.5)$$

$$Y_7 (R^{28}_{сж}) = 14,89 - 2,06 x_1 - 2,08x_1^2 + 0,87 x_1x_2 + 1,74 x_1x_3 + 2,26 x_2 + 2,27x_2^2 + 0,52x_2x_3 + 0,95x_3 + 0,12 x_3^2 \quad (6.6)$$

$$Y_8 (\rho^{28}) = 2405 - 37,7 x_1 - 28x_1^2 - 18,25 x_1x_2 - 16,75 x_1x_3 - 13,8 x_2 + 9,34x_2^2 + 6,25x_2x_3 - 17,7x_3 - 53 x_3^2 \quad (6.7)$$

$$Y_9 (W) = 3,41 + 0,61 x_1 + 0,37x_1^2 - 0,83 x_1x_2 - 0,15 x_1x_3 - 0,51 x_2 + 0,168x_2^2 - 0,15 x_2x_3 - 0,11 x_3 - 0,132 x_3^2 \quad (6.8)$$

$$Y_{10} (K_p) = 0,92 - 0,07 x_1 + 0,11x_1^2 - 0,08 x_1x_2 - 0,0 x_1x_3 + 0,02 x_2 + 0,16x_2^2 - 0,03 x_2x_3 - 0,08 x_3 + 0,26 x_3^2 \quad (6.9)$$

$$Y_{11} (R^{90}_{сж}) = 14,207 - 3,001 x_1 - 0,098 x_1^2 + 0,216 x_1x_2 + 1,019 x_1x_3 + 1,164 x_2 + 3,057 x_2^2 - 1,047 x_2x_3 - 0,614x_3 - 1,579 x_3^2 \quad (6.10)$$

$$Y_{12} (R^{90}_{изг}) = 9,873 - 2,088 x_1 + 1,219 x_1^2 - 0,53 x_1x_2 + 0,201 x_1x_3 + 0,981 x_2 + 0,034x_2^2 + 0,255x_2x_3 + 0,833x_3 - 0,242x_3^2 \quad (6.11)$$



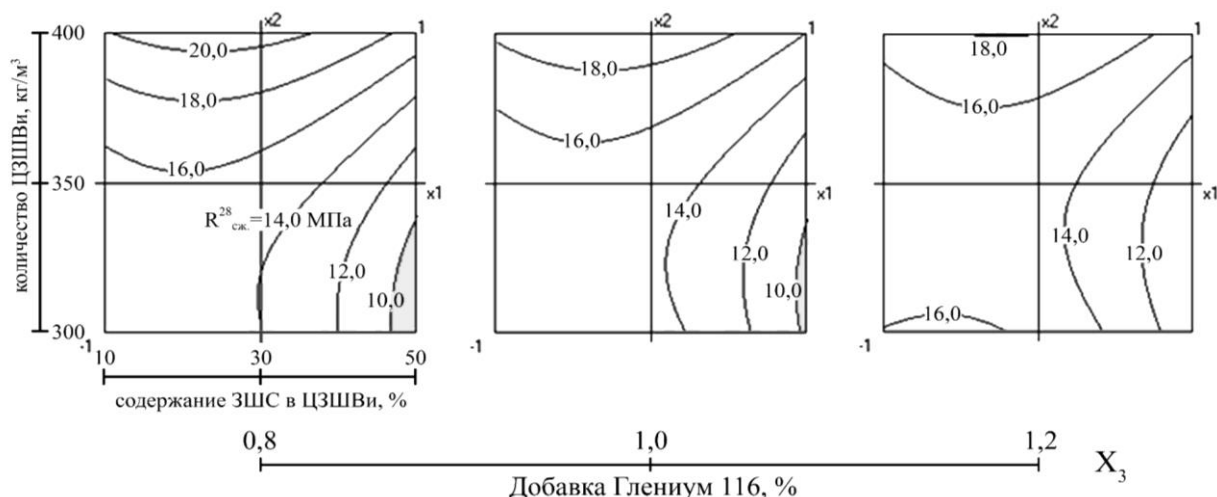


Рисунок 22 – Прочность на сжатие МЗБ на 28 суток при добавке Глениум 116 - 0,8; 1,0 и 1,2 %

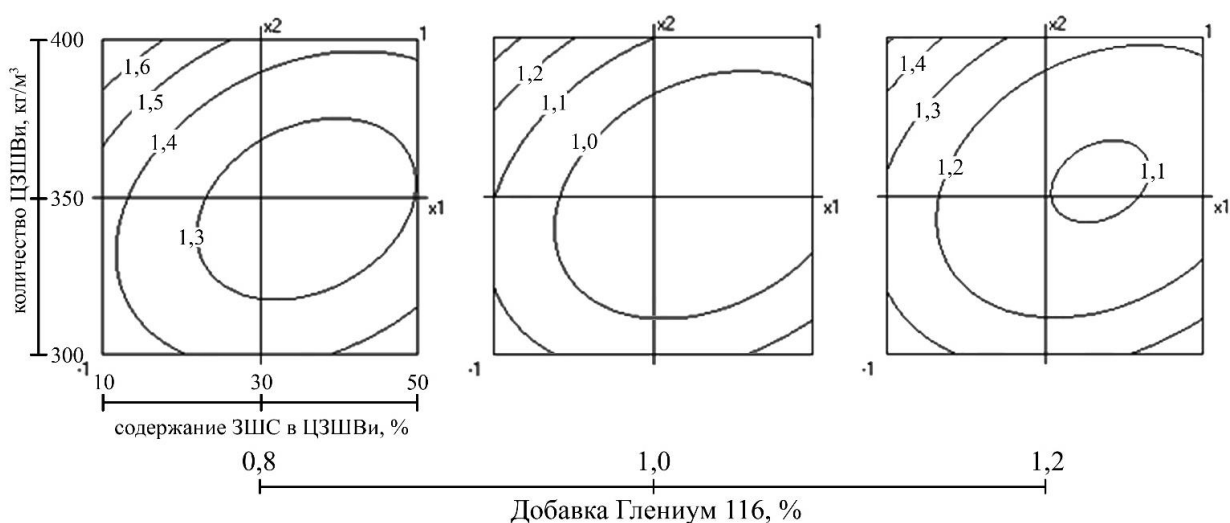


Рис. 23 – Коэффициент размягчения ( $K_p$ ) МЗБ на 28 суток нормального твердения при добавке Глениум 116 - 0,8; 1,0 и 1,2 %

Получение МЗБ на низкотемпературных цементах представляется возможным при обязательной их активации с использованием ЗШС в течении 1-2 часов. Анализ коэффициентов ЭС-модели, позволил установить, что для достижения максимальной прочности МЗБ содержание в ЦЗШВи золошлаковой смеси должно быть минимальным 10%, а количество вяжущего максимальным 400 кг. Получение МЗБ марок 100-150 обеспечивается на вяжущих с ЗШС 10-30% и их количестве 300-400 кг, но при регулировании химической добавки. Уменьшением количества ЦЗШВи соответственно снижается марка бетона.

## ГЛАВА 7 Технология и технико-экономические показатели производства композиционных вяжущих и мелкозернистых бетонов с использованием техногенных отходов

7.1 Технология производства цементозолошлаковых вяжущих. Последовательность операций, обеспечивающих переработку золошлаковой смеси в качественное цементозолошлаковое вяжущее состоит из процессов:



1. Поставка и складирование: ЗШС смесь доставляется автосамосвалами и помещается на промежуточный склад сырья (1).
2. Первичная обработка: Сырьё поступает в приемный бункер (2) и транспортируется ленточным транспортером (3) в щековую дробилку (4).
3. Сортировка: Из дробилки материал по ленточному транспортеру (5) направляется в приемный бункер с дозатором (6) и далее на грохота (7), где отделяется крупная фракция ( $\geq 5$  мм).
4. Фракционирование и измельчение: Мелкие фракции из грохота поступают через бункер-питатель (8) в шаровую мельницу (11) для дальнейшего измельчения вместе с цементом, который подается через отдельный бункер-питатель (10).
5. Хранение и упаковка: Готовое композиционное вяжущее из шаровой мельницы поступает в силос-слад (12) для хранения и последующей упаковки в крафт-мешки.

*7.2 Технологическая схема производства стеновых блоков на основе ЦЗШВ<sub>и</sub>*  
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 изготовления композиционного вяжущего вещества; 2 - Этап изготовления бетонной смеси; 3 – Этап формования стеновых блоков.

*7.3. Техничко-экономические показатели производства ЦЗШВ<sub>и</sub>.*  
Экономический эффект производства вяжущих рассчитан опираясь действующие нормативные документы КР.

1. С учетом добавки ЗШО 20 % рассчитываем расход сырьевых материалов на 1 т ЦЗШВ, который составил: Портландцемент – 800 кг; ЗШО – 200 кг; Экономический эффект за 1 год от выпуска цементнозолошлакового вяжущего (ЦЗШВ) в объеме 10 000 т составит 3 836 970 сом.

*7.4. Техничко-экономические характеристики производства стеновых блоков на цементнозолошлаковых вяжущих.* Проектируемые стеновые блоки были изготовлены в соотношении ЦЗШВ:Ш=1:3. При изготовлении 1 м<sup>3</sup> (100 штук) стеновых блоков из мелкозернистого бетона плотностью 1840 кг/м<sup>3</sup> экономия за счет использования золошлаковых отходов в качестве наполнителя и мелкого заполнителя составит 296 сом. При использовании только к цементно-золошлакового вяжущего экономия составит 26,24 сом.

На 100 штук условного стенового блока из ЦЗШВ и мелкого заполнителя из шлака при соотношении 1:3 составит экономическая эффективность составит 29600 сом.

*7.5. Технология производства цементозольных вяжущих веществ.* При организации производства бетонов на композиционных вяжущих использовали «отлежавшуюся» золу гидроудаления, т.к. при вылеживании в золоотвале она содержит меньшее количество соединений серы и щелочных оксидов, которые естественным образом вымываются из частиц золы. Зольные отходы, длительное время находящиеся на открытом воздухе теряют свою реакционную способность вследствие окисления, вымывания

гуминовых кислот, что влечет к снижению водопотребности золы в бетонной смеси. Восстановление и повышение активности инертных золошлаковых отходов осуществляется их переработкой, применяя такие технологические приемы, как сушка до 1 %, измельчение до необходимой дисперсности и при необходимости добавление химических добавок.

*7.6. Техничко-экономические показатели производства цементнозольного вяжущего.* Расход сырьевых материалов на производство 1 т ЦЗВ<sub>и</sub>, которая составляет в процентном содержании, 70:23: Портландцемент – 700 кг; Зольные отходы – 300 кг. Экономический эффект за 1 год от выпуска композиционного цементнозольного вяжущего (ЦЗВ) 10 000т составит 3 422 300 сом.

*7.7. Техничко-экономические характеристики производства 1 м3 бетона класса В 15 (М200) на цементнозольном вяжущем.* Калькуляция затрат на производство 1 м3 бетона и расчет экономического эффекта от использования композиционного вяжущего вещества проводился на примере бетона класса В15 (М200) заводского состава. Наиболее осязаемая разница в стоимости бетонов обусловлена в экономии цемента. Чем выше содержание цемента в бетоне, тем экономичнее выпуск тяжелого бетона. При выпуске 10 000 тонн тяжелого бетонов В-15 (М200) экономия составит 2 490 000 сом и В-7,5 (М100) экономический эффект составит 1 700 000 сом.

*7.8. Технологическая карта получения мелкозернистого бетона с использованием золы рисовой шелухи и золы гидроудаления.*

*7.9 Техничко-экономические показатели эффективности получения мелкозернистого бетона с использованием золы рисовой шелухи и золы гидроудаления.*

Расчёт себестоимости 1 т мелкозернистого бетона, изготавливаемого на заводе Кум-Шагыл по расходу материалов показал, что при изготовлении М100 (В7,5) – 3152,2 сом, при М150 (В10) - 3521,29 сом, при М200 (В15) - 3883,89 сом, при М250 (В20) - 4280.48сом, при М300 (В22,5) - 4615.57 сом без учёта затрат предприятия на производство и реализацию продукции.

Расчет себестоимости экспериментальной мелкозернистой смеси с добавкой золы гидроудаления и золы из рисовой шелухи показал, что при изготовлении М100 (В7,5) - 3609,77 сом, при М150 (В10) - 3656,86 сом, при М200 (В15) - 3610,04 сом, при М250 (В20) - 3763,02 сом, М300 (В22,5) - 3721,83 сом без учёта затрат предприятия на производство и реализацию продукции.

При производительности завода по производству товарного бетона 30 тыс. м3/ год экономическая эффективность от использования добавки золы рисовой шелухи (ЗРШ) в цемент и золы гидроудаления (ЗГУ) вместо части мелкого заполнителя составит при изготовлении экспериментальных мелкозернистых бетонов классов В15 - 8215500 сом, В20 15523800 сом, В22,5 26812200 сом.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Золошлаковые отходы Бишкекской ТЭС (3–4 группа) при активации могут применяться как наполнители для цемента и заполнители для бетонов различного назначения. Для комплексного изучения возможности их использования топливные отходы ТЭС разделяют на: золошлаковую смесь, золу гидроудаления и топливный шлак.

2. Золошлаковые материалы (зола гидроудаления, ЗШС, топливный шлак) относятся к кислому типу зол с не стабильным химическим составом. Содержат  $\text{SiO}_2$  в пределах 52–55% и имеют потери при прокаливании от 4,07% до 15,30%, по содержанию кремнезема ( $\text{SiO}_2$ ), глинозема ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и оксидов железа ( $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) практически идентичны. Некоторое отличие по содержанию  $\text{CaO}$  (5,74 и 6,47);  $\text{MgO}$  (0,74-1,14);  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  (1,5 и 2,6). Показатели ( $\text{CaO} \leq 10\%$ ,  $\text{MgO} \leq 5\%$ ,  $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}) \leq 3\%$ ,  $\text{SO}_3 \leq 3\%$ , потери при прокаливании  $\leq 25\%$ ) соответствуют нормам по ГОСТ 25592-91.

3. Зола гидроудаления не обладает самостоятельными вяжущими свойствами, средняя насыпная плотность составляет  $800-850 \text{ кг/м}^3$ , истинная плотность  $1,82-2,20 \text{ г/см}^3$ , удельная поверхность  $2230-2250 \text{ см}^2/\text{г}$ . Помол в шаровой мельнице 0,5 часа обеспечивает дисперсность равнозначную цементу ( $310 \text{ м}^2/\text{кг}$ ). При помоле 1 час дисперсность составила  $360 \text{ м}^2/\text{кг}$ , в течении 1,5 часа  $380 \text{ м}^2/\text{кг}$  и далее в течении трех часов дисперсность остается в пределах  $390 \text{ м}^2/\text{кг}$ , что отмечает ее легкую размалываемость.

4. Зола рисовой шелухи, благодаря своим уникальным свойствам: повышенному содержанию диоксида кремния в аморфной форме ( $\text{SiO}_2$  81,3%) и дисперсности, обладает высокой пуццолановой активностью и перспективна в качестве наполнителя в цементные вяжущие. Она легко реагирует с гидроксидом кальция, образуя кальциевые силикатные гидраты (С-S-H), которые способствуют увеличению прочности, плотности цементного камня и соответственно долговечности бетона.

5. Установлена эффективность ЗГУ при твердении в условиях ТВО: при замене 10 % цемента золой с дисперсностью  $3000-5000 \text{ см}^2/\text{г}$  прочность вяжущего практически не снижается. При помоле 2 часа и содержании золы 10 % максимальная прочность 37 МПа, при 30 % золы прочность  $R_{сж}^{28}$  составляет 33 МПа. Эффективное использование золы гидроудаления в композиционных вяжущих возможно при её активации с цементом

6. Установлено, что способ введения ЗШС в цемент влияет на водопотребность и сроки схватывания ЦЗШВ: Для ЦЗШВ<sub>м</sub> при ЗШС от 10% до 50% водопотребность повышается с 27% до 32%; начало схватывания растет с 96 минут до 212–214 минут. А у вяжущего ЦЗШВ<sub>н</sub> тенденция увеличения сроков схватывания схожа с ЦЗШВ<sub>м</sub>.

7. Установлено, что при содержании ЗШС 10 % прочность ЦЗШВ<sub>м</sub>  $R_{сж}^{28}$  составляет 33,04 МПа, что равнозначно с прочностью исходного цемента (33,46 МПа). ТВО значительно активизирует пуццолановую активность ЗШС. Так при 10 % ЗШС в ЦЗШВ<sub>м</sub> прочность достигает 21,7 МПа, что

выше, чем у исходного цемента (19,4 МПа). Вяжущие ЦЗШВ<sub>и</sub> по прочностным показателям превосходят ЦЗШВ<sub>м</sub> даже при повышенных дозировках (до 50% ЗШС).

8. Для ЦШВ рекомендуется совместное измельчение цемента с молотым шлаком, учитывая повышенное содержание в нем стеклофазы. По мере наполнения прочность вяжущего снижается значительно для ЦШВ-И<sub>и</sub>. При 10% шлака  $R^{28сут}_{сж} = 22$  МПа, а при 30 и 50% составляет 18 и 10 МПа. У вяжущего ЦШВ-П<sub>м</sub> прочность снижается от 34 до 18 МПа, а для ЦШВ-П<sub>и</sub> снижается от 34 до 22 МПа, т.е. наименьшее из всех вяжущих. Максимальная прочность  $R^{28сут}_{сж} = 34$  МПа наблюдается у вяжущего ЦШВ-П<sub>м</sub> при 10 – 12 % шлака, а для вяжущего ЦШВ-П<sub>и</sub> 10-20%. Максимальное наполнение 50% обеспечивает у них прочность  $R^{28сут}_{сж} = 22$  МПа. И наибольшая прочность  $R^{28сут}_{сж} = 34$  МПа установлена у вяжущего ЦШВ-П<sub>и</sub> с содержанием шлака 20 %, что равнозначно прочности исходного чистого цемента 33 МПа.

9. Оценка эффективности использования золошлаковых отходов показала, 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 коэффициент эффективности изменяется от 0,335 до 0,432; Для вяжущих при 30 % наполнении шлаком ЦШВ-П<sub>м</sub>  $K_{эф} = 0,464$  и для ЦШВ-П<sub>и</sub>  $K_{эф} = 0,47$ .

10. Корректировка зернового состава Песка Чу (М<sub>к</sub>-2,55) способствовала увеличению доли промежуточной фракции (1,25 мм) до 20,9%, что способствует уплотнению структуры и снижению объёма пор. Зерновой состав песка Аламедин (М<sub>к</sub>-3,26) после корректировки был изменён: фракция 2,5 мм уменьшилась с 36% до 29,1%, что снижает избыточное содержание крупных частиц. Фракция 1,25 мм значительно увеличилась до 21,4%, что помогает восполнить дефицит средних частиц и создать более непрерывное распределение частиц песка.

11. Золошлаковая смесь после корректировки отмечается снижением доли сверхкрупной фракции на сите 20 мм с 15,7% до 5,2%. Фракция 10 мм увеличилась до 23,3%, а 5 мм – до 22,5%. природных мелких заполнителей и золошлаковых отходов для использования в качестве заполнителя для бетонов.

12. Зола гидроудаления после корректировки зернового распределена в сторону увеличения содержания средних фракций (0,315 мм и 0,16 мм) за счёт сокращения доли ультрамелких частиц (0,05 мм и 0 мм). Что обеспечит более эффективное заполнение пустот.

13. Прочность МЗБ  $R^{90}_{сж} = 30$  МПа соответствует области рецептур ( $X_1 = 0...7$  %;  $X_2 = 0...20$  %;  $X_3 = 0.8\%$ ). Практически во всей области факторного пространства при условии, что пластификатор находится в пределах 0,4...0,8 % ( $x_3 = 0...1$ ) прочность МЗБ обеспечивается в пределах  $R^{90}_{сж} = 20...30$  МПа.

14. В составе МЗБ №1, где КВВ :Ш (5-10мм) :П - 1:2:1 лучшие результаты показывает вяжущее с использованием золы ГУ и ЗШС. МЗБ на вяжущем с ЗШС 10-50 % набирает прочность после ТВО в пределах 15-10

МПа. На вяжущем с золой ГУ в пределах 18-12 МПа. Та же тенденция сохраняется и после твердения МЗБ 28 суток, здесь  $R_{сж}^{28сут}$  находится в пределах 22 -14 МПа;

15. для МЗБ состава № 6 КВВ : Ш (смесь фр.0-5 и 5-10 мм) - 1:2 установлено, что наибольшие  $R_{сж}^{тво}$  и  $R_{сж}^{28сут}$  обеспечиваются для МЗБ на вяжущем ЦЗВи (с золой ГУ) и ШЦВи (с шлаком), но при нижних уровнях 10%. При 40% наполнителя обеспечивается  $R_{сж}^{28сут} \geq 20,0$  МПа.

16. для МЗБ состава № 7 КВВ : Ш (смесь фр.0-5 и 5-10 мм) - 1:3 содержание мелкого шлакового заполнителя увеличено, что привело к снижению плотности МЗБ до 1720-1820 кг/м<sup>3</sup> и прочности до 10- 18 МПа. И прочность МЗБ  $R_{сж}^{28сут} = 20,0$  МПа обеспечиваются при 10% содержании наполнителя в вяжущих ЦЗВи (с золой ГУ) и ШЦВи (со шлаком).

17. По результатам исследований выявлена единая закономерность: образцы твердеющие 28 суток в нормальных условиях, характеризуются более высокими показателями прочности, чем после ТВО, что обусловлено превалирующей ролью цементных минералов в процессе гидратации, нежели активированными частицами золы гидроудаления.

18. Анализ результатов прочности МЗБ на вяжущих с золой гидроудаления, золошлаковой смесью и шлака показал, что чем ниже марка бетона, тем большее количество цемента можно заменить топливными отходами.

19. - основе шлакового заполнителя и шлакоцементных вяжущих состава 1:2 получен облегченный МЗБ – М 200,300;  $\rho=1800-1880$ кг/м<sup>3</sup>; Мрз 100;  $\lambda=0,72$  Вт/мК, а из состава 1:3 – МЗБ плотностью 1700-1870 кг/м<sup>3</sup>; М150-200; Мрз 75;  $\lambda=0,67$  Вт/мК;

20. – на основе шлакового заполнителя с использованием песка фр 0-5 и фр 5-10 и шлакоцементных вяжущих получен МЗБ -  $\rho=1300-1380$ кг/м<sup>3</sup>; М 50; Мрз 20;  $\lambda=0,35$  Вт/мК.

21. Установлено, что МЗБ на песке месторождения Аламедин показали, что прочность после ТВО максимально для состава № 8 имея прочность  $R_{сж}^{тво} = 27,4$  МПа и ОК 5,8 см, плотность 2270 кг/м<sup>3</sup>. Оптимизация гранулометрического состава песка и использование добавки MasterGlenium 116 (1%) позволило снизить содержание цемента на 30%.

22. Установлена оптимальная дозировка химической добавки MasterGlenium 917 - 0,8% для МЗБ на ЦЗШВи (30%)  $R_{сж}^{тво} = 21,4$  МПа и ОК 6,1, и  $\rho$  2255 кг/м<sup>3</sup> и для экономии цемента рекомендуется заполнители оптимального зернового состава.

23. Установлено, что представляется возможным получение МЗБ класса В7,5 –В15 на низкомарочных цементах с ЗШС, но при условии обязательной их активации в течении 1-2 часов.

24. Изделия, изготовленные на основе композиционных шлакоцементных вяжущих веществ и заполнителей из шлака или природного песка, отвечают требованиям ГОСТ 6133-99 «Камни бетонные стеновые».

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ассакунова, Б.Т. Регулирование свойств композиционных цементных вяжущих с использованием бинарных наполнителей различного генезиса [Текст]/ М.А. Джусупова, А.А. Таирова // Вестник КГУСТА. - 2016.- Вып. 1(51) - С. 180-184.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=25895680>

2. Джусупова, М.А. Особенности контактно-конденсационного твердения в производстве композиционных материалов из местного сырья [Текст]/ М.А. Джусупова // Вестник КГУСТА. – 2016.- Вып. 1(51) - С. 213-218.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=25895689>

3. Джусупова, М.А. Особенности получения композиционного цементнозольного 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://elibrary.ru/item.asp?id=29791518>

4. 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.

<http://www.enu.kz/ru/info/obyavleniya/54972/>

5. 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://www.elibrary.ru/item.asp?id=32595403>

6. Джусупова, М.А. Оценка влияния золошлаковой смеси на основные свойства композиционного вяжущего [Текст]/ М.А. Джусупова, Байменова С.Т. // Вестник КГУСТА. – 2017.- Вып.2(56) - С. 163-167.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=32294985>

7. Джусупова, М.А. Оптимизация гранулометрического состава силикатных стеновых материалов с использованием техногенного сырья [Текст]/ М.А. Джусупова, Талантбек кызы А. // Наука и инновационные технологии № 3 (3). - Бишкек, 2017. - С. 107-110.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=32306637>.

8. 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://www.elibrary.ru/query\\_results.asp](https://www.elibrary.ru/query_results.asp).

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.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37136354>

10. **Джусупова М.А.** Оптимизация зерновых составов бетонов с использованием компьютерного моделирования [Текст]/ М.А. Джусупова, Талантбек кызы А. //Вестник КГУСТА. – 2018.- Вып.2(60) - С. 99-104.

[https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35663527.](https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35663527)

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://www.elibrary.ru/item.asp?id=41132115>

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 Cjnferenca. - Istanbul, 2019. - С. 302-307.

<https://www.regionacadem.org/index.php?limitstart=46&lang=ru>

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.

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85069836248&origin=resultlist>

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. Абдыкалыков А.А. Использование отходов теплоэнергетики Кыргызстана в цементных вяжущих веществах [Текст] / А.А. Абдыкалыков, **М.А. Джусупова** // Актуальная наука. Научный издательский центр "Абсолют". Волгоград. - 2019. - № 9 (26). С. 6-11.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42400249>

16. **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.

17. **Джусупова М.А.** Прочность мелкозернистого бетона на низкомарочном цементе, наполненных золошлаковой смесью [Текст] / М.А. Джусупова, Талантбек кызы А. // Materials of the V International. Scientific-



Practical Conference "Integration of the Scientific Community.To the Global Challenges of Our Time" . Volume I. - Tokyo 2020. - С. 98-103.

<https://vadnd.org.ua/app/uploads/2020/02/%D0%A2%D0%BE%D0%BC-I-%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA-%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B8-%D0%B2-%D0%A2%D0%BE%D0%BA%D0%B8%D0%BE-%D0%A4%D0%B5%D0%B2%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C-2020.pdf>

18. Абдыкалыков А.А. Ensuring Strength of Fine Grained Concrete with Mixed Cement Binders. Обеспечение прочности мелкозернистого бетона на смешанных цементных вяжущих [Текст] / А.А. Абдыкалыков, М.А. Джусупова, Н.Р. Антонюк, Талантбек кызы А. // Key engineering materials. Том №864.- 2020. -С. 134-140.

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85093095649&origin=reflist>

19. Джусупова, М.А. Влияние оптимального зернового состава заполнителя на основные физико-механические свойства мелкозернистого бетона [Текст]/ М.А. Джусупова, Талантбек кызы А. // Вестник КГУСТА. Бишкек 2020. - Вып. № 2 (67) - С. 151-157.

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44336313>.

20. Джусупова, М.А. Прогнозирование свойств мелкозернистого бетона диссоциативно-шаговым методом оптимизации [Текст] / М.А. Джусупова, Талантбек кызы А.// Вестник КГУСТА. Бишкек 2022. - Вып. № 2-1 (76) - С. 451-457.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=48491425>.

21. Джусупова, М.А. Состав мелкозернистого бетона [Текст] / М.А. Джусупова, Талантбек кызы А.// Кыргызпатент. Патент №2293. Заявка № 20210074.1. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Кыргызской Республики 28.06.2022 г.

[https://base.patent.kg/iz.php?action=search\\_list&f000=3714](https://base.patent.kg/iz.php?action=search_list&f000=3714)

22. Джусупова, М.А. К вопросу об эффективности использования золошлаковых отходов в цементные вяжущие вещества и бетоны [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова // Сборник материалов XXII Международных Байконуровских чтений.- Жезказган, 2022.-С.15-20.

[https://drive.google.com/file/d/1p7ne7Jh1F\\_9JM6VSbHnlqqw\\_x\\_tqs0xP/view](https://drive.google.com/file/d/1p7ne7Jh1F_9JM6VSbHnlqqw_x_tqs0xP/view)

23. Джусупова, М.А. The strength support of fine-grained concrete with the use of hydraulic ash and rice husk ash. Обеспечение прочности мелкозернистого бетона с использованием золы гидроудаления и золы рисовой шелухи [Текст] / М.А. Джусупова, Н.Р. Антонюк, Н.А. Тусубекова, Талантбек кызы А. // 9th International Conference on Actual Problems of Engineering Mechanics. Odesa 2023.- Том №2840. - Выпуск 1.- С. 134-140.

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85177840463&origin=resultlist>.



24. **Джусупова, М.А.** Оптимизация состава мелкозернистого бетона с использованием золы гидроудаления [Текст] / Джусупова М.А., Талантбек кызы А. // Вестник КГУСТА. Бишкек 2022. - Вып. № 2-3 (76). - С. 1082-1087.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=49399794>.

25. **Джусупова, М.А.** Применение топливных отходов в цементных вяжущих веществах [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова, Г.Р. Байменова, А.Ф. Аимбетова, М.Т. Кудашева, М.Т. Шәкетаева // The Europe and the Turkic World: Science, Engineering and Technology Materials of the IX international scientific-practical conference. - Адана, 2024. - С. 18-25.

<https://drive.google.com/file/d/1fa2DGTebD80Hx0C2va9XWlf673Nf8iYM/view>

26. **Джусупова, М.А.** Utilisation of industrial waste in heat and power industry [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова, Талантбек кызы А. Г. Байменова, О. Абдулкалям // Machinery & Energetics. 2024. -Vol. 15. -No. 2. UDC 621.311.22:662.613.2. ISSN 2663-1334 e-ISSN 2663-1342 UDC 62. DOI: 10.31548/machinery/2.2024.57 С. 57-68.

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85198383458&origin=resultslist&sort=plf-t&src=s&sid=25214d3751eb39a06891fe934558fc66&sot=b&sdt=b&s=ISSN%282663-1334%29&sl=82&sessionSearchId=25214d3751eb39a06891fe934558fc66&relpos=178>

27. **Джусупова, М.А.** Исследование структуры золы из рисовой шелухи и ее влияние на прочностные свойства мелкозернистого бетона [Текст] / М.А. Джусупова, Талантбек кызы А. // Известия КГТУ им. И.Раззакова. Бишкек 2024. -Выпуск №2 (70). - С. 527-531.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=68019555>.