

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

На правах рукописи
УДК 691.54 (043.3)

Кульшикова Сауле Тюякбайевна

**Оптимизация рецептуры и свойств композиционных
вяжущих веществ и мелкозернистых бетонов
с использованием золошлаковых отходов**

05.23.05-строительные материалы и изделия

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
к.т.н., доцент
Джусупова Махават Абдысадыковна

Бишкек – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В ВЯЖУЩИХ И БЕТОНАХ	13
1.1. Особенности структурообразования композиционных материалов с активными минеральными добавками.....	14
1.2. Характеристика золошлаковых отходов и их влияние на свойства цементов и бетонов	17
1.3. Золошлаковые отходы как активные минеральные добавки в цемент и бетоны.....	23
1.4. Отечественный и зарубежный опыт использования золошлаковых отходов в цементных вяжущих и бетонах.....	28
Заключение по главе 1	40
ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	42
2.1. Сырьевые материалы	42
2.1.1. Портландцемент	42
2.1.2. Характеристика заполнителей и наполнителей	45
2.1.3. Минеральные добавки	46
2.2. Методики проведения испытаний в исследованиях.....	50
2.3. Методы физико-химического анализа сырья и материалов в исследованиях.....	51
2.4. Методика экспериментально-статистического моделирования	52
Заключение по главе 2	53
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОПЛИВНЫХ ОТХОДОВ.....	55
3.1. Исследование химического и гранулометрического состава золошлаковых отходов	55

3.2. Исследование физико-химических характеристик композиционных вяжущих веществ с золошлаковыми отходами	61
3.3. Основные физико-механические свойства композиционных вяжущих с золошлаковыми отходами	69
3.3.1. Композиционные вяжущие вещества с использованием золы гидроудаления	70
3.3.2. Оптимизация рецептурно-технологических факторов вяжущего с использованием золы гидроудаления	76
3.3.3. Композиционные вяжущие с использованием золошлаковой смеси	84
3.3.4. Оптимизация состава композиционного вяжущего с золошлаковой смесью	88
3.3.5. Оценка эффективности золосодержащих вяжущих веществ	93
3.4. Исследование свойств заполнителя из топливных отходов	98
Заключение по главе 3	103
ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ И ЗАПОЛНИТЕЛЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОПЛИВНЫХ ОТХОДОВ	106
4.1. Мелкозернистые бетоны на основе композиционного вяжущего вещества с золой гидроудаления и шлаковом заполнителе	110
4.2. Основные свойства мелкозернистого бетона на вяжущих с золошлаковой смесью и шлаковом заполнителе	116
4.3. Оптимизация состава мелкозернистого бетона на вяжущем с золой гидроудаления и шлаковым заполнителем	121
4.4. Оптимизация составов мелкозернистого бетона на композиционном вяжущем из золошлаковой смеси и шлаковом заполнителе	125
Заключение по главе 4	131
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТОЗОЛОШЛАКОВЫХ, ЦЕМЕНТНОЗОЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ И ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ	133

5.1. Технология производства цементозолошлаковых вяжущих веществ.....	133
5.2. Технологическая схема производства стеновых блоков на основе цементозолошлакового вяжущего.....	136
5.3. Техничко-экономические показатели производства цементозолошлакового вяжущего	139
5.4. Техничко-экономические характеристики производства стеновых блоков	141
5.5. Технология производства цементозольных вяжущих веществ.....	143
5.6. Техничко-экономические характеристики производства цементозольного вяжущего	147
5.7. Техничко-экономические характеристики производства 1 м ³ бетона класса В 15 (М200) на цементозольном вяжущем	149
Заключение по главе 5	150
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	152
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	154
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	155
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	178
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	184
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	186

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

АМД	-	активные минеральные добавки
БТЭЦ	-	Бишкекская теплоэлектростанция
В/Ц	-	водо-цементное отношение
ГУ	-	гидроудаление
ЗШС	-	золошлаковая смесь
ЗШО	-	золошлаковые отходы
ДТА	-	дифференциально-термический анализ
МЗБ	-	мелкозернистый бетон
МРЗ	-	морозостойкость
П	-	пористость (%)
ПЦ	-	портландцемент
$R_{сж}$	-	предел прочности при сжатии (МПа)
$R_{изг}$	-	предел прочности при изгибе (МПа)
ЭСМ	-	экспериментально-статистические модели
НГ	-	нормальная плотность
ТВО	-	тепловлажностная обработка
НУ	-	нормальные условия
НУЧ	-	несгоревшие угольные частицы
Кр	-	коэффициент размягчения
$K_{эф}$	-	коэффициент эффективности
λ	-	коэффициент теплопроводности
ЦЗВ	-	цементнозольное вяжущее
ЦЗШВ	-	цементозолошлаковое вяжущее
Ш	-	шлак
РФА	-	рентгенофазовый анализ

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы диссертации. В настоящее время перед строительной отраслью особенно остро стоит задача рационального использования природных ресурсов в соответствии с концепцией устойчивого развития страны.

Из огромного количества минерального сырья, извлекаемого из природной среды для целей производства, в конечный продукт превращается лишь 1,5-2,0%. Из отраслей, потребляющих промышленные отходы, наиболее емкой является промышленность строительных материалов, доля сырья которой в себестоимости продукции достигает 50 % и более.

По результатам многих исследований установлено, что ценность ЗШО заключается в их низкой рыночной стоимости и способности проявлять пуццолановые свойства самостоятельно или в присутствии активаторов, что позволяет экономить до 30 % цемента и более половины природных заполнителей, снизить теплопроводность бетонов, снизить массу зданий и сооружений. При уменьшении массы бетона на 10 % стоимость конструкции снижается на 3 %. Эффективной заменой портландцементу могут стать композиционные вяжущие с добавками из ЗШО. Их производство может быть организовано либо на цементном заводе, либо непосредственно на предприятиях по производству бетонных и железобетонных изделий.

В Кыргызстане только на одной Бишкекской ТЭЦ расход топлива в зависимости от сезона в сутки колеблется от 3,5 тыс. тонн до 7 тыс. тонн, выбрасывая в окружающую среду 20-25 тонн золы и различные соединения химических веществ. За год объемы ЗШО составляют 300-350 тысяч тонн и занимают 178 гектаров земельных угодий.

Основной причиной отставания Кыргызстана от ведущих стран мира по показателям ресурсоемкости экономики является низкий уровень развития производственной базы, использование устаревшего оборудования. Из-за

несовершенства технологической базы значительная часть перерабатываемого сырья переходит в категорию отходов. Хотя многие отходы по своему составу и свойствам близки к природному сырью.

В связи с вышеизложенным в диссертационной работе изучалась возможность использования золошлаковых отходов в качестве наполнителей в цементы и заполнителей для получения композиционных цементных вяжущих веществ и бетонов на их основе.

Гипотеза исследования. В основу гипотезы научного исследования положены представления о структурообразовании модифицированных композиционных материалов и физико-химических процессах взаимодействия компонентов вяжущего вещества, заполнителей и бетонах на их основе.

Топливные отходы, измельченные до определенной дисперсности, способны выполнять некоторые функции цемента, а в процессе его гидратации и твердения образовывать более плотную и компактную структуру новообразований. И основными требованиями является обеспечение стабильных свойств и оптимальный гранулометрический состав ЗШО.

Несмотря на различные способы получения «разбавленных» цементов наиболее предпочтительным считается совместное измельчение в мельницах портландцемента с минеральными добавками. Получение композиционных вяжущих веществ с наполнителями возможно при регулировании времени измельчения, количества цемента и золошлаковых отходов.

Мелкозернистые бетоны требуемого класса могут быть получены с использованием композиционных вяжущих веществ и заполнителей из золошлаковых отходов.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями, крупными научными программами (проектами), основными научно-исследовательскими работами, проводимыми образовательными и научными учреждениями.

Данная научно-исследовательская работа является инициативной.

Цель и задачи исследования.

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

Задачи исследования:

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

Научная новизна полученных результатов. 1. Выявлено влияние золошлаковых отходов равнозначного химического состава, различающихся методами отбора, хранения и фазовым составом, на физико-химические процессы структурообразования композиционного вяжущего вещества. 2. Выявлены закономерности влияния способа введения, времени активации, вида и количества золошлаковых отходов на основные физико-механические и структурные характеристики композиционного вяжущего вещества. 3.

Установлена зависимость эффективности использования портландцемента в композиционных вяжущих веществах от наполнения золошлаковыми отходами и условий твердения. 4. Установлен оптимальный гранулометрический состав мелкого заполнителя из топливного шлака для мелкозернистых бетонов на цементнозольных и цементнозолошлаковых вяжущих. 5. Получены экспериментально-статистические модели основных свойств композиционного вяжущего вещества с наполнителями из золы гидроудаления или золошлаковой смеси. 6. Разработаны оптимальные составы облегченного мелкозернистого бетона, классов В 7,5 – В 20,5 на композиционных вяжущих веществах из золы гидроудаления или золошлаковой смеси и шлакового заполнителя.

Практическая значимость полученных результатов. 1. Получены композиционные вяжущие вещества, оптимально наполненные золой гидроудаления или золошлаковой смесью. 2. Установлен оптимальный фракционный состав мелкого заполнителя из топливного шлака, способствующий полному или частичному замещению природного песка для мелкозернистого бетона. 3. Разработаны оптимальные составы композиционных вяжущих веществ с различным количеством золы гидроудаления или золошлаковой смеси. 4. Разработаны оптимальные составы МЗБ на шлаковом заполнителе рациональной фракции. 4. Рассчитаны основные технико-экономические показатели производства композиционных вяжущих веществ и МЗБ из золошлаковых отходов. 5. Разработана нормативная документация (технологические карты) на производство композиционных вяжущих веществ и изделий из МЗБ. 6. Результаты работы апробированы в условиях производства ЗАО «Кум-Шагыл».

Экономическая значимость полученных результатов. Экономический эффект для состава цементнозольного вяжущего при соотношении компонентов, (Ц : ЦЗВ = 70%:30 %) от производства 1 тонны цементнозольного вяжущего составил 342,23 сом. При условии выпуска ЦЗВ 10 000 т в год экономический эффект составит 3 422 300 сом. Экономический эффект для состава цементнозолошлакового вяжущего при соотношении компонентов,

(Ц:ЗШС = 80 %:20 %) от производства 1 тонны цементнозольного вяжущего составил 383,697 сом. При условии выпуска ЦЗШВ 10 000т в год экономический эффект составит 3 836 970 сом. Экономический эффект при изготовлении 100 штук стеновых блоков из мелкозернистого бетона экономия за счет использования золошлаковых отходов на 1 м³ составит 296 сом. На 10 000 штук условного стенового блока из мелкозернистого бетона В-15 (М200) экономическая эффективность составит 29 600 сом.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Результаты исследований физико-химических и физико-механических характеристик ЗШО для оценки возможности использования их в качестве наполнителя в вяжущих веществах и заполнителя для МЗБ. 2. Результаты исследований физико-механических свойств композиционных вяжущих веществ и оценка эффективности способа введения ЗШО (зола-гидроудаления или золошлаковая смесь) в цементную матрицу. 3. Результаты исследования характеристик топливных шлаков для оценки пригодности их использования в качестве мелкого заполнителя в МЗБ. 4. Оптимальные составы композиционных вяжущих веществ различной степени дисперсности и наполнения золой гидроудаления или золошлаковой смесью. 5. Оптимальные составы МЗБ, классов В 7,5 – В 20 на основе композиционных вяжущих веществ и мелкого заполнителя из топливного шлака. 6. Технологическая схема и технико-экономические характеристики производства композиционных вяжущих веществ и мелкозернистого бетона на заполнителе из ЗШО.

Личный вклад соискателя в изучении химико-минералогического состава и определении основных физико-механических свойств ЗШО; в изучении физико-химических особенностей структурообразования композиционного вяжущего вещества с использованием различных ЗШО; в оценке влияния механической активации, количества, вида ЗШО на свойства композиционных вяжущих веществ и коэффициента эффективности использования цемента в них; в оценке эффективности использования цемента при изготовлении композиционных вяжущих веществ с различными ЗШО; в

определении основных физико-механических свойств и рационального зернового состава заполнителей из ЗШО; в разработке составов МЗБ требуемого класса на основе композиционных цементных вяжущих и заполнителей из ЗШО; в разработке технологической схемы и определении технико-экономических характеристик композиционных вяжущих веществ и МЗБ с использованием ЗШО.

Особая благодарность выражается всему коллективу кафедры «Производство, экспертиза строительных материалов и конструкций», в частности к.т.н., профессору Ассакуновой Т.Т. и научному руководителю, к.т.н., доценту Джусуповой М.А.

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, Сборник материалов Международной научно-практической конференции «НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ» Казахстан г. Шымкент 2017 г. ноябрь; 3) Сборник материалов Совместной Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве» Алматы 2018 г.; 4) Международно-практическая конференция «Вызовы современности: инновационное развитие строительной отрасли, проблемы ее цифровизации и стандартизации» 25-26 апреля 2019 г., г. Бишкек, КГУСТА им.Н.Исанова; 5) «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; 6) Международный семинар «Моделирование и оптимизация строительных композитов», 21-22 ноября 2019 г., г. Одесса, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. Результаты исследований опубликованы в 20 научных статьях, в которых отражены основные результаты диссертационной работы, том числе 2 статьи в издании индексируемое в Elsevier «SCOPUS» и 7 статей в изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из 5 глав, общих выводов, списка использованной литературы, включающего 229 наименований. Полный объем диссертации 187 страниц, включая 41 рисунков, 40 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В ВЯЖУЩИХ И БЕТОНАХ

Из всех образующихся и накопившихся отходов самыми много тоннажными являются отходы угледобывающей и топливной промышленности. Техногенные отходы отличаются большим разнообразием свойств и по-разному влияют на качество продукции на их основе. Это приводит к необходимости разработки для каждого вида отхода особых методов их подготовки. Академик В. И. Соломатов указал, что для эффективного использования техногенных отходов нужен принципиально новый подход к их утилизации, требующий дополнительных затрат для создания информационно-аналитического банка данных об отходах, технологий и санитарно-гигиенической их оценки, разработки методов кондиционирования и хранения [164].

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

Основные положения по использованию тонкодисперсных МД в цементных системах заложили В. А. Кинд (1932), В. Н. Юнг (1951), П. П. Будников (1957), Ю. М. Бутт (1974). Развитие этого научного направления продолжили Н. И. Федьнин (1975), А. В. Волженский (1979), М. М. Сычев (1986), В. И. Соломатов (1989), Л. И. Дворкин (1991), В. Г. Батраков (1998), Н. Н. Шангина (1998), А. Е. Шейкин (1979), Ю. М. Баженов (2006), В. И. Калашников (2006) и др.

За многие годы в Кыргызстане скопилось более миллиарда тонн золошлаковых отходов (ЗШО). Основываясь на основные теоретические

положения и практический опыт по использованию МД, ЗШО могут успешно использоваться в виде наполнителей в цемент и заполнителей в бетоны различного назначения.

1.1. Особенности структурообразования композиционных материалов с активными минеральными добавками

Технологии производства строительных материалов постоянно совершенствуются. В связи с развитием современного материаловедения новые представления о дисперсных материалах и строительных композитах выходят за рамки понятия их структуры. Наряду с этим появляются более емкие понятия строения вещества и материалов: структурная топология, топологические переходы и состояния и пр.

Изучение процессов структурообразования таких материалов целесообразно на основании положений физико-химической механики дисперсных систем. Главной общей особенностью объектов физико-химии дисперсных систем, к которым можно отнести многие вторичные продукты промышленности, сильно-развитая межфазная поверхность и, как следствие, большое значение избыточной поверхностной энергии Гиббса [53].

Как правило, реально системы полидисперсны, т.е. содержат широкий спектр частиц по размеру, причем некоторая доля частиц обычно имеет размер, характерный для области коллоидной дисперсности, что резко увеличивает значение удельной поверхности [53]. Но поскольку избыточная межфазная энергия Гиббса пропорциональна удельной поверхности, то высококонцентрированные полидисперсные системы отличаются весьма высокой концентрацией этой энергии.

Взаимодействие дисперсных частиц в дисперсной системе осуществляется через межчастичные контактные связи [30,32,36]. Прочность связей (контактов)

между частицами твердых фаз зависит от физико-химической природы поверхностных частиц и дисперсионной среды. В случае, если сила взаимодействия со средой выше энергии взаимодействия друг с другом, то частицы взаимодействуют через дисперсионную среду. Так называемые структуры с коагуляционными контактами, которые образуются между частицами твердых фаз, разделенных прослойками жидкой дисперсионной среды. В остальных случаях частицы стремятся осуществить непосредственный точечный контакт (характерный для высокодисперсных порошков).

Дисперсные системы с развитой поверхностью и высокой концентрацией характеризуются самопроизвольным образованием пространственных структур, которые определяют основные для них структурно-механические свойства. Образование пространственных структур в высококонцентрированных дисперсных системах связано непосредственно с атомными или коагуляционными контактами. Такие структуры возникают самопроизвольно, поскольку в соответствии с принципом Гельмгольца их образование сопровождается уменьшением избыточной межфазной энергии Гиббса и соответствующим ростом энтропии системы, а процесс структурообразования завершается формированием термодинамически устойчивых структур [53].

Закономерности структурообразования композиционных строительных материалов на различных структурных уровнях наиболее полно раскрываются в рамках полиструктурной теории [41, 98]. При анализе структур строительных материалов выделяются определенные их типы по размерному признаку, например, субмикроструктура на уровне продуктов новообразований минеральных вяжущих; микроструктура на уровне цементного камня; мезоструктура - растворная часть и макроструктура на уровне крупного заполнителя. 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.

Объединение структур в композиционный материал 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.

Основой создания композиционных материалов (КМ) с заданными свойствами является взаимосвязь «назначение – свойства – состав». Управление свойствами, т. е. получение комплекса заданных свойств состоит в выборе сырья, придании ему необходимых технологических свойств с последующей технологической обработкой компонентов для получения требуемых свойств. Для этого, в свою очередь, нужны углубленные теоретические исследования наполненных систем как на микро-, так и на макроуровне. Необходимо определить влияние природы, размера, формы, физико-химических свойств частиц с определением количественных характеристик и изучить механизмы и кинетику твердения вяжущих различной природы на стадии зародышеобразования основоопределяющей фазы [10,16].

Деление минеральных компонентов бетона на наполнители и заполнители отражает принципиально разную их роль в физико-механических процессах структурообразования, при этом к наполнителям относят порошки с высоким модулем поверхности [17], а к заполнителям частицы с размерами до 50 мм и более. Наполнители не должны создавать в окружающем материале поля деформации и напряжений, их размер позволяет им участвовать в физико-механических процессах организации структуры связующего.

Различные приемы позволяют влиять на структуру бетона, причем для каждого уровня они свои. Регулирование гранулометрического состава изменяет толщину растворной пленки и формирует макроструктуру бетона. Для мезоструктуры целесообразно перемешивание в энергонасыщенных

смесителях, т. к. качественное перемешивание является трудно достижимым, но весьма эффективным приемом. Введением химических добавок, в том числе ПАВ, управляют микроструктурой цементного камня в соответствии с принципом, сформулированным [17].

В. И. Соломатов и соавт. (1989) предложили теорию влияния микронаполнителей на процессы структурообразования и деструкции в цементных бетонах, а также возможность определения необходимого количества микронаполнителей в составе бетона на основании соотношения поверхностных активностей и размеров контактирующих частиц, определяющих полноту и степень взаимодействия цемента и наполнителя.

МД делятся на природные и техногенные, наиболее полная классификация разработана комитетом RILEM [165].

Введение МД различных групп в состав цемента показало, что прочность повышалась при добавках промышленных отходов (зол ТЭС, металлургических шлаков, кирпичного боя) [99, 116, 120, 133].

Использование золы ТЭЦ позволяет управлять процессами структурообразования, регулировать подвижность бетонной смеси, скорость твердения и прочность в заданном возрасте. Основными рычагами управления структурой являются: доля золы в смешанном вяжущем, удельный расход золоцементного вяжущего в бетоне и водовязущий фактор [114].

1.2. Характеристика золошлаковых отходов и их влияние на свойства цементов и бетонов

Золошлаковые отходы (ЗШО) в зависимости от минералогического состава используемого топлива, способа и условий его сжигания, конструкции топок, способа улавливания и удаления золы и шлака отличаются широким многообразием химического и минерально-фазового составов.

Удаление топливных отходов из бункеров золоуловителей осуществляется двумя основными способами: гидравлическим и пневматическим.

Мелкодисперсная зола-унос (ЗУ) уносится из топки с дымовыми газами и улавливается при их очистке в циклонах и электрофилтрах, при этом для различных полей электрофилтров гранулометрический состав улавливаемой золы различен. ЗУ представляет собой тонкодисперсный материал, состоящий в основном из частиц размером 5-100 мкм. Ее химико-минералогический состав соответствует составу минеральной части сжигаемого топлива. Основным компонентом золы-уноса является стекловидная алюмосиликатная фаза, составляющая 40—65 % всей массы и имеющая вид частиц шарообразной формы размером до 100 мкм. Удельная поверхность ЗУ колеблется в пределах 1000—4000 см²/г. Во многих случаях она приближается к удельной поверхности цемента и имеет стабильный химико-минералогический состав. На тех электростанциях, где организовано улавливание золы и отбор ее в специальные силосы для отгрузки потребителям, зола реализуется для нужд широкого спектра производителей строительных материалов [58, 159].

В большинстве электростанций используется простой и надежный гидравлический способ, позволяющий перемещать ЗШО на расстояния 5–10 км от электростанции и совмещать гидротранспортирование и грануляцию шлака. В результате образуется золошлаковая смесь – механическая смесь золы и шлаков. Недостатком этого способа является большой расход воды [21].

При высоких температурах (1200-1600 °С) сжигания топлива минеральные примеси претерпевают изменения; в них протекают сложные физико-химические процессы: выделяется химически связанная вода силикатов и алюмосиликатов; разлагаются карбонаты; идут реакции в твердой фазе; происходит плавление, кристаллизация, силикатообразование, стеклообразование и др. Поэтому золы и шлаки ТЭЦ имеют сложный химический и минералогический состав [78].

В отличие от ЗУ ЗШО не отличаются стабильностью химического и минералогического составов и соответственно отличаются большим разно-

образом свойств, что отражается на качестве продукции на их основе и их использование ограничивается рядом требований.

Существует ряд классификаций ЗШО по химическому составу. В их основу положено содержание различных оксидов: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO . В зависимости от их соотношения золы делят на два класса:

I – золы, затвердевающие в камневидное тело после смешения с водой;

II – золы, затвердевающие лишь после смешения с водой и известью, т.е. обладающие пуццолановыми свойствами.

По величине удельной поверхности золы делят на: тонкодисперсные ($S > 4000 \text{ см}^2/\text{г}$), среднедисперсные $2000-4000 \text{ см}^2/\text{г}$) и грубодисперсные ($S < 2000 \text{ см}^2/\text{г}$). При насыпной плотности менее $800 \text{ кг}/\text{м}^3$ золы считаются легкими, $800-1000$ - средней плотности и более 1000 – тяжелыми.

Требования к химическому составу ЗШО, применяемые для производства различных видов бетонов и строительных растворов определены ГОСТ 25818-91 и ГОСТ 25592-91. Нормируется также содержание оксидов: оксида кальция CaO - 10 %, чтобы обеспечить равномерность изменения объема при твердении, свободного CaO - 5 %; оксида магния MgO - не более 5 %; верхний предел сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3 по требованиям сульфатостойкости - 3-6 % (в зависимости от вида исходного топлива); суммарное содержание щелочных оксидов Na_2O и K_2O - 1,5-3 % (в зависимости от вида сжигаемого топлива) во избежание деформаций при их реакции с заполнителями.

В зависимости от вида топлива и условий его сжигания в золе и золошлаковой смеси присутствуют несгоревшие частицы твердого топлива (недожог), в разной степени метаморфизированные. Преобразованное в топке органическое вещество весьма отлично от его исходного состояния и находится в виде кокса и полукокса с очень малой гигроскопичностью и выходом летучих веществ [43]. Потеря массы при прокаливании (п.п.п.) должна быть не выше 3-25 % в зависимости от вида исходного топлива.

От содержания CaO ЗШО подразделяются на высококальциевые ($\text{CaO} > 20\%$) и низкокальциевые ($\text{CaO} < 20\%$). Для первых преобладающими являются кристаллические фазы, для вторых - стекло и аморфизованное глинистое вещество. Высококальциевые золы в свою очередь делят на низкосульфатные ($\text{SO}_3 < 5\%$), получаемые при сжигании угля и торфа, и сульфатные ($\text{SO}_3 > 5\%$) - при сжигании сланцев.

Наличие свободной CaO можно рассматривать с двух точек зрения. Во-первых, поскольку щелочные компоненты активизируют зольное стекло, наличие свободной извести является положительным фактором, например, для зол горючих сланцев. Во-вторых, приходится считаться с тем, что для отдельных фракций золы этот показатель изменяется в значительных пределах.

Способность к самостоятельному твердению основных зол, содержащих повышенное количество оксидов кальция, усиление этой способности при щелочной активизации, а также гидравлическая активность кислых зол определяют их использование в качестве самостоятельного вяжущего или как добавки взамен части цемента.

Важно при этом учитывать, что химический состав золы сам по себе, т.е. вне совокупности с другими показателями, такими, как вещественный, минералогический и гранулометрический состав, микропористость, истинная удельная поверхность не может объективно характеризовать данный продукт. [32]. 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.

Показателем активности ЗШО как активных минеральных добавок является их гидравлическая активность, которая оценивается по коэффициенту качества K и определяется по формуле:

$$K = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} \quad (1.1)$$

Показатель K указывает на способность взаимодействия оксидов SiO_2 и Al_2O_3 в щелочной среде гидроксида кальция, выделившийся при гидратации цемента с образованием в дальнейшем гидросиликатов и гидроалюминатов Ca .

Гидравлическая активность золошлаковых отходов может также оцениваться по «модулю активности» M_a , т.е. чем больше глинозема в ЗШО тем легче он гидратируется в щелочной среде.

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} \quad (1.2)$$

Интегральной характеристикой обобщающей химический состав различных ЗШО является модуль основности:

$$M_o = \frac{CaO + MgO + K_2O + Na_2O}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad (1.3)$$

$M_o < 1,0$ – кислые; $M_o > 0,9$; кислых – 0,6–0,9; сверхкислых – $M_o < 0,6$.

Для кислых и сверхкислых зол важно знать количество стекловидной фазы, которая является носителем гидравлической активности. С повышением показателей M_a и M_o гидравлическая активность шлаков и зол возрастает.

Модуль кислотности:

$$M_k = \frac{Al_2O_3 + SiO_2}{CaO + MgO} \quad (1.4)$$

Силикатный (кремнеземистый) модуль:

$$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (1.5)$$

В основных содержание $MgO + CaO$ до 40%, в том числе 5-20% свободного CaO , и кислые содержание SiO_2 более 45% и $MgO + CaO$ до 12%.

Соблюдение нормативных требований к химическому составу зол ТЭС позволяет обеспечить надлежащую прочность и долговечность бетона.

Золы и шлаки с высоким содержанием $CaO + MgO$ целесообразно использовать в первую очередь в качестве сырья для производства вяжущих веществ, а низкокальциевые – в качестве активных заполнителей в ячеистых бетонах, активных минеральных добавок к цементам и бетонам, в производстве кирпича, искусственных пористых заполнителей и т.д. [109, 142, 184, 211].

Сравнительный анализ (таблица 1.1) зол пылевидного сжигания каменных углей, показал, что в основном по содержанию SiO_2 они относятся к кислым и не способны к самостоятельному твердению.

Подготовленные ЗШО успешно применяются как наполнители в цементных вяжущих так и заполнители в бетонах, направленно изменяющие его структурные и физико-механические характеристики [0].

Таблица 1.1. - Химический состав зол ТЭС в %

Зола из отвалов	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3+ FeO	Ti O_2	CaO	Mg O	SO_3	K_2O+ Na_2O	П.п.п.
Алма-Атинской ГРЭС	56,52	25,58	2,39	0,93	2,17	0,45	0,48	0,20	7,16
Бишкекской ТЭС	52,09	20,00	2,23	0,92	5,74	0,74	0,72	1,5	15,3
Карагандинской ТЭЦ	52,45	24,27	500,16	1,02	4,39	2,00	0,63	0,80	3,06
Жезказганской ТЭЦ	51,32	23,31	21,31	1,11	4,21	1,51	00,79	2,00	12,61
Целиноградской ТЭЦ	43,47	15,14	0,63	0,88	3,46	1,38	0,97	1,60	27,41
Ермаковской ГРЭС	60,00	25,47	0,18	1,14	2,22	0,90	0,82	-	0,70
Экибастузской ГРЭС	52,3	25,67	0,26	-	1,50	0,40	1,68	0,65	12,86
Павлодарской ТЭЦ-1	60,82	26,77	1,19	-	1,13	0,22	0,17	0,62	3,32
Петропавловской ТЭЦ	62,26	23,46	1,08	1,10	2,50	0,30	0,68	-	4,92
Усть-Каменогорской ТЭЦ	56,85	18,80	1,12	1,44	3,59	2,12	0,37	3,4	6,26
Новочеркасской ГРЭС	44,15	21,32	14,24	0,64	2,76	1,14	1,12	4,18	9,36

Наиболее рациональным решением для практической реализации утилизации ЗШО предлагаются установка оборудования для обогащения котельной золы ТЭЦ из золоотвала или непосредственно после узла мокрого золоудаления. Оборудование может быть размещено непосредственно на ТЭЦ, что позволило бы существенно сэкономить электроэнергию, затрачиваемую для перекачки золы на большое расстояние до золоотвала, и вернуть воду в замкнутый контур [1, 149, 159].

1.3. Золошлаковые отходы как активные минеральные добавки в цемент и бетоны

Уже многие десятилетия АМД успешно используются в цемент и бетон и при целенаправленной их модификации они способны повысить прочность, деформативность, морозостойкость, долговечность строительных конструкций и сооружений. Т.е. разрушение структуры цементных композиций предотвращается вводом в композицию АМД, функцией которых является снижение концентрации гидроксида кальция в твердеющей системе [57, 159, 188, 228].

Основным источником АМД в настоящее время могут являться техногенные отходы производства топливно-энергетической промышленности.

При сжигания твердого топлива (угля) минеральная часть, включающая глинистые минералы, полевые шпаты, слюда, карбонаты кальция и магния, оксиды и гидроксиды железа, кварц и другие минералы претерпевают изменения. При высоких температурах глинистые минералы и слюда дегидратируют, разрушается кристаллическая решетка, происходит их аморфизация. Зерна кварца практически не изменяются, оплаваясь и растрескиваясь. Сильнее оплаваются зерна полевых шпатов. Соединения железа переходят в гематит или магнетит. Карбонаты кальция и магния диссоциируют с образованием CaO , MgO и т.д. [32,43 и др.].

Минеральные добавки делятся на активные, обладающие гидравлическими свойствами и наполнители, улучшающие зерновой состав цемента и структуру затвердевшего цементного камня, однако не обладающие или обладающие слабыми гидравлическими и (или) пуццолановыми свойствами при нормальных условиях твердения.

В процессе гидратации цементов АМД связывают свободную известь и образуют новые фазы. Такое поведение АМД связано с наличием в их составе активного кремнезема и глинозема. Твердение активных минеральных добавок

природного происхождения и зол носит пуццолановый характер, проявляющийся в кислотно-основном взаимодействии в водном растворе структурных элементов портландцементного клинкера и добавки [56].

АМД на первых этапах твердения цементов вступают в роли инертных наполнителей-подложек, центров кристаллизации, активизирующих образование новой фазы из пересыщенных растворов [57]. С этой точки зрения поведение добавок микронаполнителей, наиболее благоприятной структурой поверхности зерен обладает кварц [56], на котором образуются прочные и плотные контактные зоны. Введение микронаполнителей АМД целесообразно в случае, когда скорость твердения вяжущего лимитируется скоростью кристаллизации новообразований. Исследования кинетики упрочнения концентрированных паст C_3A , C_2S и C_3S в работе [0], показали, что в начале твердения активная минеральная добавка равно как и неактивная, наибольшее влияние оказывает на реакции C_3A с H_2O , в зависимости от своей дисперсности. Активная минеральная добавка в алюминатных пастах способствует снятию части вредных внутренних напряжений, сопровождающих кристаллизацию новообразований при высоких перенасыщениях. Значение дополнительных структур, возникающих при взаимодействии добавки с известью возрастает с повышением основности вяжущего, но это происходит в более поздние сроки [42].

Присутствие гипса в цементах с активными минеральными добавками способствует образованию гидросульфоалюминатов кальция, гидросиликатов типа CSH и гидроалюминатов кальция [102]. Замена части цемента золой снижает прочность материала в раннем возрасте [2]. Как показано в работах [25], если рассматривать более той, которая следовала бы из отношения «Поры: Цемент», показано, что подобный эффект связан с образованием дополнительных структур. В работах [114] показано, что в зольных цементах интенсивность протекания пуццолановых реакций зависит от химического состава стекловидной фазы золы. Пуццолановая реакция золы в водном растворе в кислотноосновном взаимодействии начинается с продуктов

гидратации C_2S и C_3A до образования этtringита. Эта реакция начинается с момента покрытия частички гидроокисью кальция. Между пленкой гидроокиси кальция и поверхностью частички золы существует граничный слой толщиной 1- 2 мкм, в виде водного промежутка. Проникновение через него катионов Ca^{2+} и протекание пуццолановой реакции приводит к постоянному заполнению промежутка продуктами химических реакций. Прорастание граничного слоя этtringитом упрочняет связь частицы золы с цементным камнем. Но установлено, что такая реакция не дает прироста прочности, пока граничный слой не заполнится, поэтому на ранних стадиях гидратации цементов, содержащих золу, единственным активным компонентом следует считать клинкерную составляющую. Увеличение дисперсности золы оказывает положительное влияние на прочности только в ранние сроки твердения, при малой концентрации, за счет образования жесткого каркаса, состоящего из мелких кристалликов этtringита и волокнистых гидросульфалюминатов кальция (размером 0,5...0,8 мкм).

В работах [1,147,142] отмечается, что на активность зольных портландцементов в большей степени влияет однородность частиц золы по размеру, чем их характерный размер. Введение золы в портландцемент, аналогично шлаку, приводит к снижению прочности при твердении в нормальных условиях и к повышению ее при тепловлажностной обработке [10], отмечается, что за счет введения 15 % золы с размером частиц 60...120 мкм (не подвергающей помолу) повышается активность связующего после пропаривания на 14 %.

Неоднородность золы вызвана особенностями ее удаления на тепловых электростанциях и условиями образования при сжигании топлива. Таким образом, в обычном бетоне, где зола применяется в качестве мелкого заполнителя, получаемый эффект в значительной степени зависит от того, в какой мере сочетая неоднородное с однородным удастся достигнуть улучшения композиции в целом. Если конструкция или изделие из бетона не ухудшают

свою структуру на макро- и микроуровне для данных конкретных условий эксплуатации, значит зола сыграла позитивную роль [41].

Эффективность введения золы в портландцементе увеличивается с ухудшением качества клинкера. Так, добавка золы к силикатам кальция в оптимальном количестве приводит к повышению прочности мономинеральных систем, но в то же время ухудшает свойства алюминатных систем [25]. По своему действию на отдельные минералы клинкера введение золы повышает прочность продуктов гидратации C_3A , C_4AF [43]. Авторы работы [128,76,120] связывают такое различие в поведении шлаков и зол с тем, что золы не имеют в своем составе сколько-нибудь заметного содержания щелочей и самостоятельно не склонны к твердению, а C_4AF при взаимодействии с водой не выделяют свободную CaO .

По механизму действия минеральных добавок в цементе показано, что их положительное влияние на первых этапах твердения заключается в улучшении зернового состава связующего. Изменяя зерновой состав, минеральные добавки способствуют повышению трещиностойкости цементного камня. Также отмечается, что камень из цемента с добавками обладает более плотной структурой с резким сокращением количества крупнокристаллических гидросиликатов кальция, что и способствует повышению морозостойкости. Введение минеральных добавок способствует пластификации растворов и бетонов при одинаковом содержании воды [55].

Экспериментальными исследованиями установлено, что дисперсность добавки должна быть меньше определенного значения (удельная поверхность около $200 \text{ м}^2/\text{кг} \dots 300 \text{ м}^2/\text{кг}$), не больше, чем основного, портландцементного вяжущего. Это связывается с тем, что увеличение тонкости помола шлака, к примеру, не увеличивает его активность по поглощению CaO [19].

На прочность образцов затвердевшего цементного камня с АМД оказывает влияние не только количество, но и структура новообразований. Из этого следует, что прочность «микробетона», его деформативные свойства для образцов с небольшим количеством микронаполнителя (до 10 %), а также

плотность и стойкость будут определяться структурой геля. При увеличении содержания микронаполнителя до 40–50 % не исключается влияние на указанные выше характеристики как структурных особенностей МД, так и наличия крупнокристаллических образований [41, 147, 164].

В институте высоких температур РАН предложено несколько технологий по переработке и использованию ЗШО в производстве строительных и теплоизоляционных материалов [6]. По мнению специалистов этого института, в XXI веке наибольшие перспективы имеют комбинаты, комплексно использующие угли, которые наряду с электрической и тепловой энергией будут производить стройматериалы, глинозем, цемент и другую продукцию.

В качестве одной из причин, влияющих на уровень использования ЗШО, некоторые специалисты называют их токсичность и радиоактивность. Однако исследования в этом направлении показали отсутствие у них токсичных свойств и согласно проведенным исследованиям ЗШО являются не радиоактивными [85,91].

Использование пуццолановых и вяжущих свойств ЗШО при введении их в портландцемент экономически целесообразно.

Например, США и Канада уделяет особое внимание к использованию промышленных отходов в качестве МД в бетон, чем в качестве компонентов смешанных цементов. Причем способ их введения в бетон незначительно влияет на его свойства. Технологические выгоды от введения МД в бетон включают повышение его непроницаемости, химической стойкости, трещиностойкости при тепловой обработке и увеличение предела прочности.

Анализ литературных источников показывает, что использование АМД в композиционных материалах обеспечивает снижение стоимости цементных вяжущих, повышение физико-механических и эксплуатационных характеристик. Эффективность применения АМД может быть повышена за счет использования активации вяжущего и классификации заполнителей.

Таким образом можно отметить, что нет единой теории, связывающей разнообразные свойства цемента и наполнителя с конечными свойствами

композиционного материала. Необходимые эксплуатационные характеристики таких материалов напрямую зависят от качества и степени подготовленности АМД, состава и соотношения сырьевых компонентов, технологии и требуют проведение экспериментальных исследований в каждом конкретном случае.

1.4. Отечественный и зарубежный опыт использования золошлаковых отходов в цементных вяжущих и бетонах

Снижение себестоимости и энергоемкости продукции является важнейшей задачей строительного комплекса. В этой связи ЗШО вызывает производственный интерес со стороны производителей строительных материалов. В настоящее время ЗШО в основном используют вместо мелкого заполнителя в бетонах, но реальную экономию может дать также их использование в качестве АМД для цементов [56,57,1,73,129].

Подход к решению проблемы использования зол ТЭС в странах СНГ и за рубежом принципиально отличается. В развитых странах золошлаки называются побочным продуктом ТЭС, который доводят до требований указанных в нормативных документах. В странах СНГ золошлаки официально называются отходами и электростанции предлагают потребителям именно отходы, а не технологически доработанный продукт с соответствующими характеристиками [199].

Американский профессор Р. Е. Дэвис 1930 годы разработал спецификацию на золу-унос (fly ash) и предложил использовать ее для производства бетона. Но до 1946 года, нигде в мире не было оборудования для улавливания этой золы. Основательно взялись за решение проблемы промышленных отходов горения угля в развитых странах лишь в 90-е годы.

В Скандинавских странах уровень утилизации золы ТЭЦ довели до 100 %.

В Европе кратное увеличение объемов переработки ЗШМ началось с введения общих для Евросоюза политических директив, регулирующих выбросы в угольной промышленности. Самые известные стандарты – IPPC, LCPD, IED. В 2010 году страны Тихоокеанского региона (Китай, Индонезия, Австралия) создали свою Азиатскую ассоциацию угольной золы, которая регулярно публикует отчеты и решения по переработке ЗШО.

Существует 5 основных направлений переработки ЗШМ (в порядке убывания популярности): строительные материалы; дорожное строительство; строительные проекты; производство наполнителей; сельское хозяйство.

В западной Европе и Японии при ТЭС практически ликвидированы золоотвалы. Сухая зола поступает в силосы, построенные рядом с главными корпусами ТЭС. В Германии на многих электростанциях емкость силосов составляет 40-60 тыс. т. и обязательно строятся небольшие силосы, из которых отбираются пробы для анализа золы, и в которых она технологическими методами перемешивания и объемного дозирования по фракционному составу доводится до соответствия нормативным требованиям.

В Германии функционирует крупнейшая на европейском континенте фирма по использованию зол ТЭС – BauMineral (BM), которая имеет собственную систему перевозок и хранения. Сильная сторона компании – своевременная транспортировка. Продукция BM соответствует стандартам и инструкциями DIN и подвергается внешнему контролю со стороны институтов тестирования стройматериалов [221].

В Германии создан и действует Технический союз пользователей побочного продукта ТЭС (ТСППТЭС) где ежегодно производится 25 млн. т. побочного продукта. Летучую золу используют как добавку в бетон, раствор, цемент в подземном и дорожном строительстве. Побочные продукты ТЭС экспортируются в соседние страны с обязательным наличием сертификата.

В США применять золу ТЭС в бетонах и растворах предписывает закон. Нарушители подвергаются экономическим санкциям со стороны государства. В

Китае золошлаки ТЭС отпускаются потребителям бесплатно. В Польше применяются экономические рычаги, стимулирующие использование ЗШО.

В штате Висконсин разработаны составы конструкционного бетона, 70 % от массы цемента золы-унос от сжигания суббитуминозных углей на ТЭС, что позволяло заменить до 40-50 % цемента. Расход цемента в этом случае составлял 154 кг/м³, а прочность на сжатие в возрасте 28 сут составляла 40 МПа, в возрасте 56 сут - 47 МПа, 91 сут-51 МПа. Данное исследование подтвердило возможность применения значительного количества низкокальциевой ЗУ для приготовления конструкционного бетона [202].

Специалисты Канады исследовали с II вида золы-унос. В бетонных образцах содержание золы составляло 20 % по массе, В/Ц = 0,5 и получен бетон плотностью 2300 кг/м³ с модулем упругости 0,29 - 0,36×10²МПа. Прочность образцов возрастала со временем, но не достигала прочности контрольных образцов. МРЗ исследованных и контрольных образцов совпадала [33].

В Великобритании на четырех ТЭС были проведены обследования различных элементов конструкций из бетона с золой-унос, для сравнения состояния стальной арматуры через 10-30 лет. В элементах с добавкой золы-унос следов коррозии арматуры не обнаружено [222].

В Германия 80% зданий строят с использованием ЗШО. Добавка золы в бетон непосредственно на строительной площадке дает возможность изменять свойства бетона. Поскольку медленное твердение бетонов с золой-унос может не отвечать графикам возведения конструкций, его иногда ускоряют путем уменьшения В/Ц и дополнительной термообработкой [54].

В Испании в Институте Эдуардо Тороха проведено исследование свойств бетона, где до 60 % вяжущего было представлено ЗУ различных электростанций. Авторы исследования считают, что использование 30 % ЗУ от массы вяжущего при соответствующей ее дисперсности может увеличить прочность бетона на сжатие, особенно в поздние сроки твердения [22].

В Австралии фирмой «Amateci-Fcd» разработан способ определения оптимального количества ЗУ в тяжелых бетонах различного состава:

количество связующего на 1м³ бетона составляло 150...350 кг, количество ЗУ до 125 кг [20]. В Польше исследована возможность применения зол и шлаков в бетоне, который показал хорошие теплоизоляционные свойства с теплопроводности - 0,508 Вт/(м×К) [49].

Учёные из Канады [23] изучили сульфатостойкость образцов цементных строительных растворов, содержащих высоко- и низкокальциевую ЗУ. При исследовании применялся портландцемент, высоко- и низкокальциевая ЗУ, шлак и микрокремнезем. Хорошие результаты дали испытания образцы, содержащие 40 % низкокальциевой ЗУ и меньшим содержанием гидроксида кальция по сравнению с образцами из бездобавочных растворов.

Исследования в области использования ЗШО в цементы и бетоны проводились советскими учеными П.П. Будниковым, П.И. Боженковым, Ю.М. Буттом, Ю.С. Буровым, А.В. Волженским, В.Х. Кикасом, Н.А. Поповым, Г.И. Книгиной, С.Г. Караханиди и др. [28,114,46,29,15].

Первую классификацию топливных шлаков и зол предложил Н.А. Попов. В.В. Суровец в 30-х годах исследовал золы подмосковных углей и доказал возможность их использования для изготовления золоцемента.

С.М. Зозенблит в 1931- 1932 гг. впервые провел исследования и получены смешанные цементы: золопортландцемент, золошлакопортландцемент и т.п. Г.Н. Сиверцев предложил классификацию ЗШО в зависимости от режима сжигания топлива, соотношения между стекловидной и кристаллической фазами и установил, что чем больше относительное содержание стекловидной фазы, тем выше активность золы [163].

В настоящее время ЗШО используют в бетон по трем направлениям: зола как добавка взамен части цемента; зола взамен части песка; зола в качестве самостоятельного компонента (активного микронаполнителя).

Так как основные золы с высоким содержанием оксидов кальция обладают способностью к самостоятельному твердению, а кислые золы обладают достаточно высокой гидравлической активностью, то первоначально золы нашли применение в бетоне, как частично заменяющий цемент компонентов.

При этом количество вводимой золы невелико (до 10 - 20 % от массы цемента, что составляет 20 - 50 кг на 1 м³ бетона) и водопотребность бетонной смеси изменялась незначительно. Замена 20-25 % цемента (при расходе 280-360 кг на м³ бетона) золой-унос Запорожской или Ладыжинской ГРЭС с удельной поверхностью 3000-4000 см²/г приводит к некоторому снижению водопотребности. При использовании золы высокого качества (высокая дисперсность, отсутствие или низкое содержание несгоревших угольных частиц) такое явление наблюдается и при более высоких долях замены цемента. Снижение водопотребности бетона было отмечено даже при замене в его составе до 57 % цемента золой Южно-Кузбасской ГРЭС с удельной поверхностью 4500 см²/г при общем расходе вяжущего до 350 кг на 1 м³ бетона [36].

Согласно оценке промышленного строительства использование ЗУ в количестве 50 кг на 1 м³ бетона экономит 20 кг цемента. Хорошие результаты дает использование ЗУ в литом бетоне при укладке самонивелирующегося пола. При добавлении 200-250 кг/м³ золы-унос расход цемента снижается на 50 кг/м³ [22].

В НИИ строительства были исследованы кладочные и штукатурные растворы с ЗУ. В результате найдено оптимальное количество ЗУ: 200-300 кг на 1 м³ раствора. Одним из условий применения золы в качестве добавки взамен части цемента является повышение ее дисперсности. Так, увеличение удельной поверхности золы Ангарской ТЭЦ с 2600 до 5000 см²/г позволило получить при 25% замене цемента бетон с прочностью в возрасте 28 суток, равной прочности бетона на исходном клинкерном цементе [45]. Введение в бетон ЗУ взамен части песка благоприятно влияет на характеристики: снижаются усадочные деформации и теплопроводность, возрастает водонепроницаемость и стойкость к агрессивным средам. При оптимальных рецептурно-технологических параметрах обеспечивается требуемая морозостойкость бетона. Так, теплопроводность бетона с добавкой золы в сухом состоянии на 20% меньше, чем у обычного бетона. Во влажном состоянии эта разница увеличивается на 45

%, что говорит о возможности улучшения теплофизических свойств легких бетонов. Водопотребность бетонов при частичной замене цемента золой, как правило не изменяется. Это обусловлено тем, что оплавленные частицы золы сфероидальной формы снижают внутреннее трение бетонной смеси, что выгодно отличает ЗУ от многих других минеральных добавок (трепела, опоки, доменных шлаков и др.), которые вызывают повышение водопотребности бетонной смеси [46].

Использование ЗУ в качестве добавки взамен части цемента увеличивает сроки схватывания золоцементного теста, как правило, на 1...2 ч, что снижает вероятность возникновения трещин [16].

Уже продолжительное время ведутся работы по использованию золы в бетонах в ее естественном виде и доказана возможность ее применения не только как добавки, но и в виде самостоятельного мелкого пористого заполнителя [22, 39, 62, 64, 75, 137 и др.].

Содержание в природном песке частиц мельче 0,16 мм допускается не более 10 %. Это ограничение вызвано тем, что при большем количестве мельчайших фракций значительно повышается водопотребность бетонной смеси. Происходит это вследствие того, что фракция менее 0,16 мм состоит в основном из пылеватых и глинистых частиц. Считая, что частицы цемента, которые значительно мельче песка, заполняют в нем пустоты и в результате гранулометрия бетонной смеси в целом может быть достаточно хорошей.

В практике высказанные соображения зачастую нарушаются, и выправлять положение приходится перерасходом цемента. Этого может и не быть, если в песке будет достаточное количество фракций менее 0,16 мм, но они не будут повышать его водопотребность и, как следствие, частицы золы имеют размер 200 мкм. Следовательно, по крупности они представляют собой именно ту фракцию песка, которая проходит через сито 0,16 мм. Однако в отличие от песка их преимущество состоит в том, что в золе преобладают частицы сферической формы с гладкой фактурой поверхности.

Из данных, полученных в исследованиях НИИЖБа [12,18], следует, что, если количество свободной $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в цементном камне суточного возраста составляло 11,8 %, а в возрасте 150 сут - 5,18 %, то в цементно-зольном камне оно соответственно снижается до 0,48 % и 0,3 %. Отсюда можно высказать суждение и о повышении степени гидратации цемента, что, в свою очередь, ведет к повышению прочности и плотности контактной зоны сцепления.

Для получения долговечного золобетона для армированных легкобетонных конструкций золы ТЭС должны также содержать пониженное количество глинистых частиц при повышенном количестве стеклофазы (не менее 50...60 %). Данные же фазового состава свидетельствуют, что в буроугольных золах, как правило, в значительном количестве присутствуют частицы аморфизованного глинистого вещества при более низком содержании стекловидной фазы, что ограничивает их применение в качестве мелкого заполнителя в бетонах. Каменноугольные же золы характеризуются более высоким содержанием стекловидной фазы (в среднем до 70 %) и малым количеством аморфизованного глинистого вещества. Это позволяет применять их для производства бетонов классов В12,5, В25 [20].

Впервые сухая каменноугольная зола ТЭЦ была применена в Новосибирске для тяжелых бетонов кассетного формования. При этом достигнутая экономия цемента составила 30- 50 кг на м^3 бетона [40,44].

Новосибирскими исследователями разработаны составы МЗБ на малоклинкерном вяжущем с использованием золошлаков. Ими установлено, что механохимическая активация золошлаков в течение 10 минут в планетарной мельнице приводит к структурным изменениям минералов золы. А совместное влияние механической и химической активации (присутствие гипса) способствует увеличению пуццолановой активности кислых зол. Оптимальный состав добавки из золошлаков Кызылской ТЭЦ, представлен % масс: механоактивированная зола 74 - 76, известь-пушонка 18- 20, гипс 5 - 6 . А малоклинкерное вяжущее, содержащее 20 – 40 % данной добавки, позволяет

получать МЗБ с плотностью менее 2,2 г/см², прочности в возрасте 28 суток до 25 МПа и морозостойкостью более 100 циклов [36].

Новокузнецким отделением института Уралстромпроект и трестом Кузбасжелезобетон выявлена возможность получения высокоподвижных и литых смесей для изготовления кассетных изделий практически без вибрации, что достигается применением золы, с добавкой лигносульфоната (ЛТС), обеспечивающего резкое снижение водопотребности бетонной смеси и повышение прочности бетона. При изготовлении высокопластичных бетонов (ОК=8...10см) хорошие результаты достигаются даже при использовании грубодисперсной золы, золы Кемеровской ГРЭС с удельной поверхностью 1770 см²/г. Экономия цемента при этом составляет 95кг на 1м³.

Далее применение золы в подобных бетонах проходило на Полысаевском заводе КПД в Кузбассе. Особенностью применения золы на Полысаевском заводе в отличие от ТЭЦ - 3 в Новосибирске является отбор ее на гидроотвалах и подача в бетоносмесительное отделение в виде шлама [45,31].

Авторами [18] установлено, что при использовании зол Московских ТЭЦ и Семипалатинской ТЭЦ с повышенным содержанием НУЧ при изготовлении тяжелых бетонов М100-200, оптимальное содержание добавки золы приводит к улучшению удобоукладываемости бетонной смеси, качества поверхности бетонных изделий, уменьшению водоотделения и расслоения, снижению расхода цемента. Прочность пропаренного бетона с добавкой золы повышается в среднем на 20-30 % при снижении средней плотности бетона на 3-5 %.

В работе [36,37] исследовались золы Ангарской и Красноярской ТЭЦ, отличающиеся по содержанию СаО (27 и 4,5 %, соответственно) с удельной поверхностью: у Ангарской– 2600 см²/г, у Красноярской– 2300 см²/г).

Увеличение удельной поверхности ангарской золы от 2600 до 5000 см²/г позволило получить бетон, который по прочности после 28 суток твердения был равноценен бетону без добавок. При дальнейшем увеличении удельной поверхности до 8900 см²/г прочность бетона повышалась еще больше, достигая 11- 12,6 % от прочности бетона без добавки.

Подобные результаты получены и для золы Красноярской ТЭЦ с той разницей, что все значения прочности оказались еще более высокими вследствие ее значительной гидравлической активности. При помоле зол Красноярской ТЭЦ от 2300 до 4000 см²/г прочность бетона при сжатии составила 123-138 %, а при помоле до 5000 см²/г., 131-150 % от прочности бетона без добавок.

Следует отметить, что водоцементное отношение в бетонной смеси (при данной ее подвижности) при помоле золы не только не увеличивается, но даже несколько снижается.

Успешный опыт использования золошлаковых отходов в ячеистых и тяжелых бетонах описан в работах [56-59]. Авторы вводили в состав бетонной смеси до 25 % золы-уноса. Для модифицированных золой составов зафиксирована повышенная скорость набора прочности по сравнению с бездобавочным бетоном. Отсюда ими сделан вывод, что золу можно рассматривать как ускоритель твердения бетона. Введение золы в состав бетона приводит к снижению его плотности, тем большее, чем выше количество вводимой золы. Это можно объяснить пониженной насыпной плотностью золы, а также повышенным расходом воды в модифицированных бетонах. При этом закономерно снижается теплопроводность тяжелого бетона. При добавлении золы морозостойкость бетона не снижается. Установлена возможность изготовления тяжелого бетона М300 с 10 % заменой портландцемента на золу уноса без существенного изменения физико-механических характеристик. Тепловлажностная обработка позволяет повысить количество вводимой золы в состав бетона без снижения прочностных характеристик. Введение золы позволяет снизить себестоимость бетона и улучшить его свойства. По мнению разработчиков [60], максимальное содержание цемента в бетоне, при котором целесообразно использовать золу ТЭС с сохранением ее пластифицирующего действия, составляет 300-320 кг/м³.

Для увеличения объемов утилизации золы в бетонах требуется новая концепция технологии применения зол, базирующаяся на получении стабильно

высокого качества всех классов и видов бетонов, в составе которых используется зола ТЭС. Исследованиями установлено, что такие показатели бетонов достигаются при оптимальной дисперсности зол ТЭС, превышающей дисперсность цемента на 150-170 м²/кг, а возможный теоретический интервал их использования для экономии цемента составляет 20,6-32,4 % [61].

Результаты многих экспериментов и опыт практического использования отходов ТЭЦ показывают, что при частичной замене цемента кислой золой прочность бетона нормального твердения в раннем возрасте при прочих равных условиях снижается пропорционально количеству вводимой золы. В более поздние сроки твердения в возрасте 180-270 суток, прочность бетона исходного состава и добавкой золы выравнивается.

К.Г. Пугин и В.С. Юшков [152] дают рекомендации по рациональному использованию отходов утилизации в качестве золошлаковых материалов.

В работе [74] дается эколого-токсикологическая оценка искусственных смесей, созданных на основе золошлаковых отходов. Широко используются золы в различных видах бетонов как в виде мелкого заполнителя и добавки к цементам, так и в виде сырьевого источника для изготовления крупного пористого заполнителя. Наиболее масштабной утилизации зол достигли при использовании ее как заполнителя для производства плотного МЗБ, где зола может использоваться без предварительной обработки и после термообработки, что привлекает простотой технологии и экономией, достигнутой на измельчении материала.

Предприятия сборного железобетона вынуждены дробить на песок керамзитовый гравий или применять в конструкционно-теплоизоляционных керамзитобетонах кварцевый песок. В ряде случаев ими выпускается легкий бетон крупнопористой структуры без достаточного количества мелких заполнителей, что приводит к повышенному расходу цемента или к необходимости защиты арматуры во избежание ее коррозии. Мелким заполнителем могут быть как отвальные золы гидрозолоудаления, так и сухие золы-уносы [4,8,9,10,12].

В соответствии с исследованиями Н.И. Федьнина и С.И.Павленко [140,175] характерной особенностью смесей, в которых в качестве мелкого заполнителя использованы песок и зола, является то, что независимо от удельной поверхности золы величины их водопотребностей весьма близки и в то же время пластичность бетонных смесей во всех случаях улучшается.

Еще один фактор, благоприятно влияющий на свойства бетона в результате замены части песка и цемента золой, выражается в том, что увеличивается степень гидратации цемента в результате связывания содержащихся в зольном стекле активных кремнезема и глинозема свободной СаО. При этом возрастает и масса химически связанной воды.

Проведение исследований по изучению влияния макро- и микрозаполнителей, водосодержания и пластифицирующих добавок на основные физико-технические свойства МЗБ показало, что при использовании в качестве заполнителя песка с модулем крупности 1,58 в смеси с гранитным отсевом и золы-унос Ладыжинской ГРЭС при соотношении, обеспечивающем максимальную плотность, дает возможность получить фигурные элементы мощности марки 400 [19].

В Кыргызстане исследованиями С.Г. Караханиди были получены смешанные вяжущие вещества из портландцемента, гипса и золы, которые использовались в тяжелых и легких бетонах [114]. Проведенные исследования показали, что введение 10-50 % комбинированной добавки, состоящей из гипса и золы-унос в портландцемент несколько увеличивает водопотребность, нормальную густоту и влияет на сроки схватывания. Отличительной особенностью данных вяжущих веществ являются короткие сроки схватывания, высокая прочность, некоторое расширение, характерное для безусадочных цементов. Смешанные вяжущие вещества, содержащие 10-15% комбинированной добавки (гипс-зола-унос) в условиях водного твердения в возрасте 28 суток характеризуются прочностью, равной 20-23 МПа и водостойкостью $K_{в}=0,8-0,9$ и более. При длительном водном твердении 180 и 360 суток прочность возрастает и достигает 30-33 МПа. Благоприятное влияние

на прочность образцов из смешанных вяжущих оказывает пропаривание при температуре 80-100⁰С. Прочность образцов на смешанных вяжущих, содержащих 10-50 % добавки, достигает 27-38,0 МПа. Увеличение прочности смешанных вяжущих можно объяснить более интенсивным связыванием Ca(OH)₂, выделяющегося при гидратации портландцемента в гидросиликаты кальция. Фазовый состав продуктов твердения смешанных вяжущих в основном представлен односульфатной формой гидросульфатоалюмината кальция $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaO_4 \cdot 12H_2O$, низкоосновными гидросиликатами кальция CS Н (В) и гидрогранатами.

На основе разработанных смешанных вяжущих в производственных условиях были изготовлены санитарно-технические кабины из тяжелых бетонов с подвижностью 10-12 см. Укладка бетонной смеси в вертикальную форму осуществлялась в 2-3 приема, а уплотнение – в течение 30-60 с. Тепловлажностная обработка изделий осуществлялась по заводскому режиму. Прочность бетона составила 20 МПа. Изготовленные изделия имели структуру без признаков расслоения уложенной бетонной смеси, без трещин и отколов и гладкую лицевую поверхность [43, 30].

На основе смешанных вяжущих были изготовлены стеновые камни для малоэтажного строительства. В качестве заполнителя использованы керамзитовый гравий и песок с характеристиками: средняя плотность 370-480 кг/м³, прочность при сжатии в цилиндре 1,5-2,6 МПа, межзерновая пустотность 40-45 %, водопоглощение 14-16 % методом вибропрессования из конструктивно-теплоизоляционного бетона слитной структуры марки 50-100 с учетом свойств заполнителей. Расход материалов на изготовление стеновых камней: смешанные вяжущие вещества – 150-300 кг/м³, керамзитовый песок – 0,63÷0,65 м³/м³, керамзитовый гравий 0,86÷1,0 м³/м³, вода – 280-360 л/м³, ОК – 1-2 см, время прессования 20-30 с. Стеновые камни из керамзитобетона имели среднюю плотностью 1190-1491 кг/м³, призмическую прочность 9,4-14,5 МПа. Влажность стеновых панелей после пропаривания – 13-14 %.

Анализ литературных источников показал, что вопросам использования ЗШО в цементах и бетонах посвящены многочисленные труды отечественных и зарубежных ученых. Выявлено, что химико-минералогический состав золы зависит от состава и вида угля, способа и полноты горения, места отбора проб, и т.д. Золо-унос сухого отбора имеют более стабильные характеристики нежели ЗШО гидроудаления.

Сложность широкомасштабного использования ЗШО заключается в их неоднородности. Они не классифицированы по химическому и гранулометрическому составам и имеют повышенную влажность.

Для решения проблемы использования ЗШО в качестве кондиционного сырья для строительной индустрии эффективным и необходимым условием является установка специального оборудования для классификации на фракции и предварительной сушки непосредственно на территории золоотвала или же проведение мероприятий по их физико-химической активизации на предприятии.

Заключение по главе 1

- Основные теоретические положения и практический опыт по использованию минеральных добавок показали, что золошлаковые отходы могут успешно использоваться в виде наполнителей в цемент и заполнителей в бетоны различного назначения.
- Использование золошлаковых отходов как наполнителя в вяжущих веществах позволяет управлять процессами структурообразования, типом новообразований при твердении цементного камня.
- Повышение эффективности применения золошлаковых отходов как наполнителя в цементы может быть достигнуто за счет использования механохимических процессов активации.

- Несмотря на многочисленные предложения и рекомендации по использованию ЗШО в производстве вяжущих и бетонах уровень их утилизации остается низким. Для расширения использования ЗШО в Кыргызстане для производства вяжущих и бетонов необходимы исследования по систематизации ЗШО и решению ряда технологических и технико-экономических задач.

ГЛАВА 2. ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Реализация намеченных задач в исследованиях выполнялась с использованием комплексного подхода: физико-химические, физико-механические и экспериментально статистические. Проводимые исследования в полной мере обеспечивают достоверность результатов экспериментальных данных при решении рецептурно-технологических задач при проектировании композиционных вяжущих веществ и бетонов.

Научные экспериментальные исследования проводились в лаборатории Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н. Исанова на кафедре «Производство и экспертиза строительных материалов, изделий и конструкций».

Последовательность выполненных научных исследований проводилась по разработанной структурно-методологической модели, представленной на рисунок 2.1.

2.1. Сырьевые материалы

2.1.1. Портландцемент

Композиционные цементные вяжущие с наполнителями были получены на основе цемента Кантского Цементно-шиферного комбината ПЦ400 Д20 ГОСТ10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент». Характеристики представлены в таблице 2.1.



Рисунок 2.1 - Структурно-методологическая модель проведения научных исследований

Таблица 2.1. – Состав портландцемента (ПЦ400) Д20, (%)

Вяжущее вещество	Цемент ПЦ400 Д20
Диоксид кремния SiO ₂	22,4
Оксид кальция СаО	65,6
Оксид алюминия Al ₂ O ₃	4,7
Оксид железа (Вюстит) Fe ₂ O ₃	4,1
Оксид железа(гематит и маггемит) FeO	-
Оксид магния MgO	1,8
Оксид серы SO ₃	0,3
Прочее	0,2

Представленные в таблице 2.2. характеристики цемента: нормальная густота цементного теста, сроки схватывания, тонкость помола, равномерность изменения объема, активность цемента при пропаривании, прочность при изгибе и сжатии позволяют оценить качество, используемого цемента.

Таблица 2.2. – Основные физико-механические характеристики цемента ПЦ М400 Д20

Характеристики	Ед/изм	Цемент КЦШК ПЦ М400 Д20
Тонкость помола, проход через сито 008	%	87
Нормальная густота	%	24
Начало схватывания	ч-мин.	1-36
Конец схватывания	ч-мин	7-27
Прочность на изгиб после ТВО	МПа	4,12
Прочность на сжатие после ТВО	МПа	19,32
Прочность на изгиб после 28 суток НУ	МПа	6,88
Прочность на сжатие после 28 суток НУ	МПа	33,46

В таблице 2.3. указан основной минералогический состав портландцемента, представленный трёхкальцевыми и двухкальцевыми силикатами, трёхкальцевым алюминатом и четырёхкальцевым аллюмоферритом.

Таблица 2.3. - Минералогический состав портландцемента (%)

Клинкер	Цемент (ПЦ М400 Д20)
Трёхкальцевый силикат - C_3S	63,3
Двухкальцевый силикат - C_2S	15,9
Трёхкальцевый алюминат - C_3A	5,4
Четырёхкальцевый аллюмоферрит - C_4AF	12,5

2.1.2. Характеристика заполнителей и наполнителей

Песок. Для получения мелкозернистого бетона применялся природный полевошпатовый песок Васильевского месторождения, минералогический состав которого состоит из кварца (56,7); полевого шпата (12,2); темноцветного минерала (18,81) и слюды (0,41).

Таблица 2.4. - Фракционный состав природного песка (Васильевского месторождения)

Номера сит (в мм)	Ед. изм.	Частный остаток	Полный остаток
2,51	%	13,51	13,51
1,2	%	12,5	26,01
0,63	%	18,51	44,51
0,31	%	29,01	73,5
0,14	%	21,01	94,51
Поддон	%	5,31	99,81

Гранулометрический состав и основные физико-механические характеристики природного песка отражены в таблицах 2.4. и 2.5.

Таблица 2.5. - Физико-механические характеристики природного песка

Свойства	Ед.изм.	Значение
M_k - модуль крупности,		2,531
ρ_n - насыпная плотность,	кг/м ³	1350,001
ρ_n - истинная плотность	г/см ³	2,56
$\rho_{ср}$ - средняя плотность,	г/см ³	2,44
S_y - удельная поверхность,	см ² /г	1384,41
П - пустотность,	%	35,91
В - водопотребность,	%	7,01

Золошлаковые отходы представлены из зольной составляющей и шлаковой составляющей. Размеры частиц золы и шлака варьируются от 0,315 до 5 мм. Химический состав топливного шлака несколько отличается от зольного повышенным содержанием расплава: Диоксид кремния (SiO_2) - 54,96 %; оксид алюминия (Al_2O_3) - 20,57 %; диоксид железа (Fe_2O_3) - 1,07 %; (FeO) - 3,97 %; (CaO) - 7,68 %; (MgO) - 2,23 %; (S_2O_3) - 0,18 %; (TiO_2) - 0,89 %; MnO - 0,11 %; ($K_2O + Na_2O$) - 3,7 %; потери при прокаливании - 4,08 %.

2.1.3. Минеральные добавки

Минеральные добавки в виде золошлаковых отходов представляют собой продукт сжигания пылевидных каменных углей месторождения «Шабыркуль» Республики Казахстан.

Одним из крупнотоннажных видов топливных отходов является зола гидроудаления, которая транспортируется в измельченном виде с водой

(влажность 40-50 %) в специальные золоотвалы ТЭС вблизи жилмассива Бакай-Ата г. Бишкек. (Рисунок 2.2)



Рисунок 2.2. Золоотвалы Бишкекской ТЭЦ

Многочисленные малые котельные Бишкека, Кант, Токмок и т.п. используют сухой способ отвала золошлаковых отходов, которые также хранятся вблизи котельных и представляют собой смесь золы и шлака. В результате горения кусков угля на колосниковой решетке образуется плотная пористая масса шлака. В сухом состоянии крупные куски шлака достигают 50-120 мм.

Для исследований из отвалов выбраны пробы отлежавшейся золы гидроудаления в сухом состоянии влажностью 0,7 %.

Сухая золошлаковая смесь котельных (влажностью 1 %), хранящаяся под навесом, неоднократно поливается водой для уменьшения запыленности воздуха.

Определение основных свойств ЗШО и изучение возможности их использования в качестве наполнителя в цементные вяжущие отходы были разделены на золу гидроудаления (ЗГУ), золошлаковую смесь (ЗШС).

Свойства топливного шлака оценивались для использования его в качестве мелкого заполнителя для бетонов.

Химический состав ЗШО приведен в таблице 2.6.

Гранулометрический состав ЗШО описан в таблице 2.7.

Таблица 2.6. - Химические составы ЗШС, золы ГУ и топливного шлака, %

Наименование ЗШО	ЗШС	Зола ГУ	Топливный шлак
SiO ₂	52,089	52,001	54,952
Al ₂ O ₃	20,001	21,581	20,561
Fe ₂ O ₃	1,442	0,971	1,061
FeO	0,699	1,299	3,959
CaO	5,739	6,469	1,669
MgO	0,740	1,14	2,22
SO ₃	0,721	0,211	0,171
TiO ₂	0,921	1,052	0,881
MnO	0,019	0,009	0,009
K ₂ O	1,01	1,69	1,19
Na ₂ O	0,49	0,89	2,39
ппп	15,301	12,130	4,071

Результаты анализа химического состава используемых топливных отходов показали, что ЗШС и зола ГУ по содержанию SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, практически равнозначны.

Из таблицы 2.6 видно, что содержание свободной извести низкое и составляет для ЗГУ $\text{CaO} = 5,74 \%$ и для ЗШС $\text{CaO} = 6,47 \%$. Содержание глинозема достаточно высокое: для ЗГУ $\text{Al}_2\text{O}_3 = 20,0 \%$ и для ЗШС $\text{Al}_2\text{O}_3 = 21,58 \%$. Потери при прокаливании невысокие (12,13...15,30 %).

SO_3 (0,17-0,72 %) по содержанию указывает на соответствие нормативным требованиям.

Следовательно просматриваемые золошлаковые отходы по результатам испытаний соответствуют ГОСТ 25592-91 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов» (таблица 2.7.).

Таблица 2.7. - Основные характеристики золошлаковых отходов

Показатель	Норма	Вид топливного отхода		
		Зола ГУ	ЗШС	Шлак топливный
Содержание сернистых и сернокислых соединений в пересчете на SO_3 по массе	Не более 3 %	0,72	0,21	0,17
Содержание $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, по массе	содержащие более 45 % SiO_2 - кислые	74,47	73,53	76,57
Удельная поверхность $\text{см}^2/\text{г}$ (в числителе - немолотая зола, в знаменателе - молотая)	Не менее 150 $\text{м}^2/\text{кг}$, а полный остаток № 008 не более 30 %	223/390		
Содержание, % по $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ массе	Не более более 3 %	2,6	1,5	3,6
Содержание Al_2O_3 , % по массе	Не нормируется	21,58	20,00	20,56
Содержание MgO , % по массе	Не более 5 % по массе	1,14	0,74	2,22
Содержание свободного CaO , % по массе	Не более 10 % по массе	6,47	5,74	1,67

Потери при прокаливании, % по массе	Не более более 25 %	12,13	15,30	4,07
-------------------------------------	---------------------	-------	-------	------

2.2. Методики проведения испытаний в исследованиях

Оценка и определение основных физико-механических характеристик сырьевых материалов и композиционных вяжущих проводились в соответствии с требованиями нормативно-технических документаций (таблица 2.8.).

Таблица 2.8. – Методы проведения испытаний

Наименование ГОСТ	Свойства
ГОСТ 310.4-86	Оценка нормальной густоты композиционных вяжущих
ГОСТ 310.4-81 [15]	Оценка водопотребности вяжущих
ГОСТ 310.4-81 [15]	Определение гидравлической активности вяжущих
ГОСТ 12730.3-78 [6]	Определение плотность и водопоглощение вяжущих
ГОСТ 25818-91 [10]	Определение содержания свободной СаО
ГОСТ 310.3-76 ГОСТ 23227-78 [8; 14]	Определение содержания (СаОсв) и (MgO)
ГОСТ 11022-95 [5] ГОСТ 25592-83; ГОСТ21-60-84	Определение содержания несгоревших угольных частиц
ГОСТ 310.2.76	Тонкость помола
ГОСТ 310.1-76	Цементы. Методы испытаний. Общие положения.
ГОСТ 310.4-81	Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.

ГОСТ 6139-91	Песок стандартный для испытаний цемента
ГОСТ 8735-88	Песок для строительных работ. Методы испытаний.
ГОСТ 10181-2000	Смеси бетонные. Методы испытаний.
ГОСТ 10180-2012	Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам
ГОСТ 310.2-80	Удельная поверхность на приборе ПСХ-2
ГОСТ 9758-86	Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой)
ГОСТ 9758-2012	Заполнители пористые неорганические для строительных работ. Методы испытаний

2.3. Методы физико-химического анализа сырья и материалов в исследованиях

Определение химического состава сырьевых компонентов проводилось в КР на лабораторной базе Государственного агентства по геологии и минеральным ресурсам.

Установление количества основных оксидов, таких как SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , K_2O , CaO , MgO , Na_2O , SO_3 сырья и материалов проводилось по методике определения химического анализа.

Фазовый состав композиционных вяжущих и продуктов их гидратации изучался методом рентгеноструктурного анализа на установке ДРОН -2 при C_α $\text{K}\alpha$ – излучении, фильтр Ni.

Исследование химических и физико-химических процессов, происходящих в испытуемых образцах, при изменении температурного режима проводилось с использованием дериватографического анализа. Этот метод основан на регистрации изменения массы образца под действием теплового эффекта.

Термические записи осуществляются с помощью дифференциальной термопары при различных температурах.

2.4. Методика экспериментально-статистического моделирования

При проведении экспериментальных исследований для сокращения временных и материальных ресурсов наиболее целесообразно использование современных методик экспериментально-статистического моделирования.

Для обеспечения качества и эффективности экспериментальных исследований наиболее целесообразно проведение активного эксперимента, в частности в строительном материаловедении, по определенному плану, позволяющему сократить временные и материальные ресурсы [36, 37, 97].

Качество и эффективность проведения опытных работ зависит не только от материально-технической базы, но и от совершенства методики и организации проведения экспериментов [5, 36, 37, 97]. Построение математических моделей различных процессов, параметров качества материалов способствуют сокращения времени для анализа результатов исследований и значительно увеличивает их информативность. Использование математической модели теории эксперимента позволяет решать сложные технологические задачи, абстрагируясь от некоторых физико-химических явлений, которые происходят в исследуемом объекте [36, 37].

Определение оптимальных параметров рецептуры и технологических режимов в производстве КВВ и МЗБ осуществлялось с использованием методики экспериментально-статистического моделирования. Результаты испытаний образцов в соответствии с планом двухфакторного эксперимента типа 3^2 представлены в таблице 2.9.

Таблица 2.9. - План 2-х факторного эксперимента 3^2

№ опыта	План эксперимента				Результаты эксперимента						
	Кодированные переменные		Натуральные переменные		Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
	X ₁	X ₂	X ₁	X ₂							
1	-1	-1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
2	1	-1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
3	-1	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
4	1	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	1	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...
6	-1	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...
7	0	1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
8	0	-1	...	...	...	...	...	...	...	...	...
9	0	0	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Выполнение двухфакторных экспериментов и статистическая обработка результатов позволила получить экспериментально-статистические модели второго порядка свойств композиционных вяжущих (глава 3) и далее физико-механических характеристик МЗБ (глава 4).

Заключение по главе 2

- топливные отходы (ЗШО) Бишкекской ТЭЦ и котельных по результатам испытаний можно отнести к 3-й и 4-й группе и могут применяться в виде наполнителя в композиционные цементные вяжущие и в виде заполнителя для бетонов;

- при изучении возможности комплексного использования ЗШО в виде наполнителей и заполнителей в цементе и бетоне необходимо их классифицировать на золошлаковую смесь, золу гидроудаления и топливный шлак.

- установлено, что ЗШО отвечают требованиям ГОСТ 25592-91 ТУ «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов», которые были нормированы следующими показателями: $MgO \geq 5 \%$, $K_2O+Na_2O \geq 3 \%$, $SO_3 \geq 3 \%$, $CaO \geq 10 \%$, потери при прокаливании $\geq 25 \%$.

- экспериментальные и инструментальные исследования по эффективному использованию золошлаковых отходов в вяжущих и бетонах следует проводить используя комплексные методы анализа физико-химических, физико-механических процессов и явлений.

- анализ результатов исследований рекомендуется проводить с использованием современных методов экспериментально-статистического моделирования.

ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОПЛИВНЫХ ОТХОДОВ

3.1. Исследование химического и гранулометрического состава золошлаковых отходов

Изучению топливных отходов Кыргызстана посвящены многочисленные исследования, но вопрос о широком использовании их в качестве сырья в строительной индустрии остается открытым.

Химический состав золошлаковых отходов определяется в основном минеральным составом используемого угля, который претерпевает изменения в процессе высокотемпературной обработки в котлах тепловой станции. Химический состав золы, при сжигании одного и того же угля, может колебаться, но в среднем его значения можно считать неизменными и использовать для строительной практики.

Многочисленные исследования различных зол гидроудаления показали, что они могут отличаться по плотности, крупности, вещественному и фазовому составу.

Особенностью золы гидроудаления является то, что при выходе из гидротрубопровода ее частицы различного размера и массы подвергаются естественной сепарации, т.е. распределяются на разные расстояния от выходного отверстия. Вследствие гравитационных сил вблизи места выброса образуется зона частиц шлака крупностью более 0,25 мм и далее зона мелких частиц золы менее 0,25 мм. Причем в золотвалах постоянно меняется место сброса пульпы, что вызывает дополнительную неоднородность по гранулометрии и содержанию частиц шлака, что вызывает необходимость в проведении дополнительных мероприятий по усреднению потребляемых ЗШО. Дополнительная многократная перевалка ЗШО является в данном случае

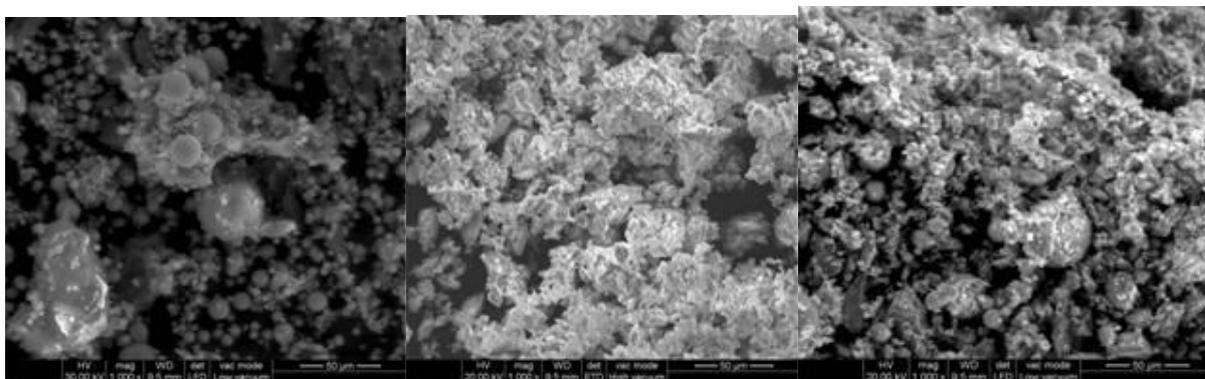
простым и доступным способом их усреднения и снижения колебаний в фракционном составе.

Определение направления использования золошлаковых отходов устанавливается по их основным качественным признакам: модуль основности, модуль кислотности, кремнеземистый модуль, коэффициент качества (таблица 3.1.).

Микроструктура ЗШО в виде золы ГУ, ЗШС и шлака представлена на рисунке 3.1 а, б, в.

Зола ГУ (рисунок 3.1(а)) представлена в виде частиц в основном шарообразной формы, иногда агрегированные состоящие из нескольких зерен золы, с шероховатой поверхностью с впадинами и выступами. Круглая полая форма зерен золы обусловлена вспучиванием стекла при их образовании.

Неоднородные агрегированные частицы золы находятся в основном в крупных фракциях. При активации помолом слипшиеся частицы золы диспергируются и повышается их однородность.



а) зола

б) шлак

в) золошлаковая смесь

Рисунок 3.1 - Микрофотографии топливных отходов

Топливный шлак представляет собой крупные куски, агрегирующие в нижней части топки, химический и фазовый состав которого напрямую зависит от минералогического состава топлива.

Стекловидная фаза топливного шлака на 40-60 % образуется в результате резкого охлаждения расплавленной минеральной части угля. Кроме того, в

шлаке отсутствуют несгоревшие частицы угля и содержится минимальное количество свободной окиси кальция.

При жидком шлакоудалении топливных отходов вследствие расплавления минеральной части угля большое количество щелочных оксидов улетучивается и содержание их незначительно.

В золошлаковой смеси золы и шлака зольная составляющая может находиться в пределах от 20 до 70 %. А при сжигании угля количество шлаков в виде пыли колеблется в пределах 10-25 % от всей массы золошлаковых отходов.

Исследованиями установлено (таблица 3.1), что ЗШО по классификации можно отнести к кислым золам, которые содержат небольшое количество CaO и высокое значение глинозема SiO_2 . Рассматриваемые зольные отходы не проявляют вяжущих свойств, а обладают определенной пуццоланической активностью к CaO , т.е. способностью поглощать известь с образованием гидросиликатов Ca .

Оценка качества определялась по гранулометрическому составу ЗШО и по содержанию микродисперсных частиц. Зола ГУ представлена частицами с различной истинной и насыпной плотностью, что отражается на её пористости и гранулометрическом составе. Средняя насыпная, насыпная и истинная плотность, удельная поверхность золы представлена в таблице 3.1.

Для изучения возможности использования ЗШО в качестве заполнителей для бетонов определяли их фракционный состав, представленный в таблицах 3.2, 3.3, 3.4.

Таблица 3.1. – Показатели качества ЗШО

Показатель	Норма	Вид ЗШО		
		Зола ГУ	ЗШС	ТШ
Удельная поверхность см ² /г (в числителе - немолотая зола , в знаменателе - молотая)	Не < 150 м ² /кг, а остаток на сите № 008 не >30 %	223/390	223/390	84-220
Содерж. SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , по массе	Содерж. > 45 % SiO ₂ -кислые	74,47/52,0	73,53/52,09	76,57/54,95
Содержание SO ₃ по массе	Не > 3 %	0,72	0,21	0,17
Содержание свободного CaO	Не > 10 %	6,47	5,74	1,67
Содержание MgO, % по массе	Не > 5 %	1,14	0,74	2,22
Содержание Al ₂ O ₃ , % по массе	Не нормирует.	21,58	20,00	20,56
Содержание % по K ₂ O+Na ₂ O	Не > 3 %	2,6	1,5	3,6
$M_o = \frac{CaO+MgO+K_2O+Na_2O}{SiO_2+Al_2O_3}$	M _o > 1,0 осн-е M _o < 1,0 кислые	0,14	0,11	0,18
$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2}$		0,42	0,39	0,37
$M_k = \frac{Al_2O_3+SiO_2}{CaO+MgO}$		9,7	11,25	7,63
$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3+Fe_2O_3}$		2,3	2,4	2,5
$K = \frac{CaO+MgO+Al_2O_3}{SiO_2}$		0,56	0,51	0,55
Средняя плотность, кг/м ³	-	800-850	850-950	2200-2800
Истинная плотность, г/см ³	-	2,44	2,39	2,86
Насыпная плотность, кг/м ³ Фракции 0-5; 5-10	Для легк. бет. не >1200 кг/ м ³	914-1045	578-692	940-1120
Потери при прокаливании, % по массе (НУЧ)	Не >25 %	12,13	15,30	4,07
Стойкость против силикатного / железистого распада	Силикат. > 8 % Желез. > 5 %	2,2/0	2,2-5,1/0	1,0 - 1,8/0

Таблица 3.2. – Фракционный состав ГУ

Номера сит, (в мм)	Наименование		
	Частные остатки, г	Частные остатки, %	Полные остатки, %
0,63	411	4,11	4,1
0,315	15	1,5	5,6
0,16	47	4,7	10,3
0,08	428	42,8	53,1
0,05	273	2,73	55,8
Дно	440	44	99,8

Из таблице 3.2. видно, что зола ГУ, в основном представлена тонкодисперсными частицами, которые дополнительно диспергировались при пневмо-гидротрансортровке и на выходе из трубопровода имели следующий гранулометрический состав: фракции 0,16-0,63 мм – 10,3 %; фракции 0,08-мм – 53,1 %; фракции менее 0,05 мм – 55,8 %. Крупные фракции золы ГУ могут применяться в виде мелкого заполнителя, а более мелкие пригодны в качестве наполнителя в вяжущие. Для повышения пуццоланической активности золы ГУ рекомендуется дополнительное диспергирование помолом.

Таблица 3.3. – Фракционный состав ЗШО

Номера сит, мм	Наименование		
	Частные остатки, г	Частные остатки, %	Полные остатки, %
20	307	30,7	30,7
10	314	31,4	62,1
5	343	34,3	96,4
2,5	274	27,4	123,8
1,25	131	13,1	136,9

0,63	190	19,0	155,9
0,315	124	12,4	168,3
0,16	73	7,3	175,6
0,08	82	8,2	183,8
0,05	32	3,2	187
Дно	80	8,0	195

ЗШС полидисперсная смесь (таблица 3.2) шлака и золы представлена в виде золошлакового гравия с зернами 5-20 мм - 49,4 %; золошлакового песка 0,16-5 мм - 40,6 % и зольная пыль размером частиц < 0,16 мм - 9,9 %. Каждая фракция имеет определенную плотность: 5-20 мм - 2,3 г/см³; 5-0,16 мм - 2,25 г/см³; 0,16-0 мм - 2,2 г/см³. Насыпная плотность не фракционированного ЗШС составляет 850 кг/м³. Для придания однородности по зерновому составу заполнителя из ЗШС необходимо дополнительное измельчение, что положительно скажется на пластично-вязких характеристиках мелкозернистого бетона.

Таблица 3.4. – Фракционный состав шлака

Номера сит, мм	Наименование		
	Частный остаток, г	Частный остаток, %	Полный остаток, %
10	120	12,0	12,0
5	500	50,0	62,0
2,5	185	18,5	80,8
1,25	55	5,5	88,6
0,63	60	6,0	92,3
0,315	30	3,0	95,3
0,16	20	2,0	97,3
дно	27	2,7	100

Крупные слипшиеся куски топливного шлака при сухом отборе имели размер 50-120 мм и для определения фракционного состава их предварительно

дробили в щековой дробилке. В таблице 3.4. показано, что в большинстве 80,8 % составляют фракции 2,5-10 мм. 35 % составляют фракции 0,16 – 2,5 мм и менее 0,16 мм – 2,7 %.

По европейским нормам УТ 197-1 [226], золу считают кислой при содержании $\text{CaO} > 10 \%$.

Анализ качественных характеристик показал, что рассматриваемые ЗШО (зола ГУ, ЗШС, топливный шлак) отвечают нормам ГОСТ Р 57789-2017 и представляют интерес как заменители природного сырья в виде наполнителей для цемента и заполнителей для бетонов различного назначения.

3.2. Исследование физико-химических характеристик композиционных вяжущих веществ с золошлаковыми отходами

Как показали результаты предварительных исследований, золошлаковые отходы по вещественному составу представлены кристаллической и стекловидной фазами, которые отличаются цветом и показателями преломления (А - бесцветная, В - желтая, С - бурая, Д – черная) [2].

Стекловидная фаза, находящаяся в топливных отходах, образуется в результате незавершенности фазовых изменений в условиях повышенной температуры 1200 °С в топочной зоне [58].

Также в состав ЗШО могут входить карбонаты кальция и магния, аморфированные зерна полевого шпата и кварца, муллит, аллюминат кальция и двухкальциевый силикат.

В золошлаковых отходах присутствуют несколько стекловидных составляющих различной степени концентрации. Если количество CaO составляет меньше 10 %, то преобладает ферроалюмосиликатная стеклофаза до 80-90 % и основные стеклообразующие окислы представлены Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 [58].

Изучались топливные золошлаковые отходы рентгенографическим и дифференциально-термическим методами анализа, которые представлены на рисунке 3.2.

По результатам РФА подтверждается наличие дифракционных линий, характерных для кварца (SiO_2) ($d = 4,24; 3,34; 2,44; 1,81; \text{Å}$), для муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2 \times \text{SiO}_2$) ($d = 5,39; 3,35; 2,86; 2,52; 2,19 \text{ Å}$). Также на рентгенограмме диагностированы слабые линии, характерные для карбонатов (CaCO_3) и ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) ($d = 3,86; 3,02; 2,08 \text{ Å}$), выявлено наличие линий характерных для однокальциевого алюмината ($d=3,73; 1,99 \text{ Å}$), что указывает на повышенное наличие оксидов алюминия в золе. Содержание в золе оксидов железа на рентгенограмме обуславливает наличие линий гематита (Fe_2O_3), (Fe_2O_4) ($d=2,69; 2,68 \text{ Å}$).

Основная часть линий данных минералов накладываются друг на друга и соответственно на рисунке часть пиков налагаются и их сложно идентифицировать.

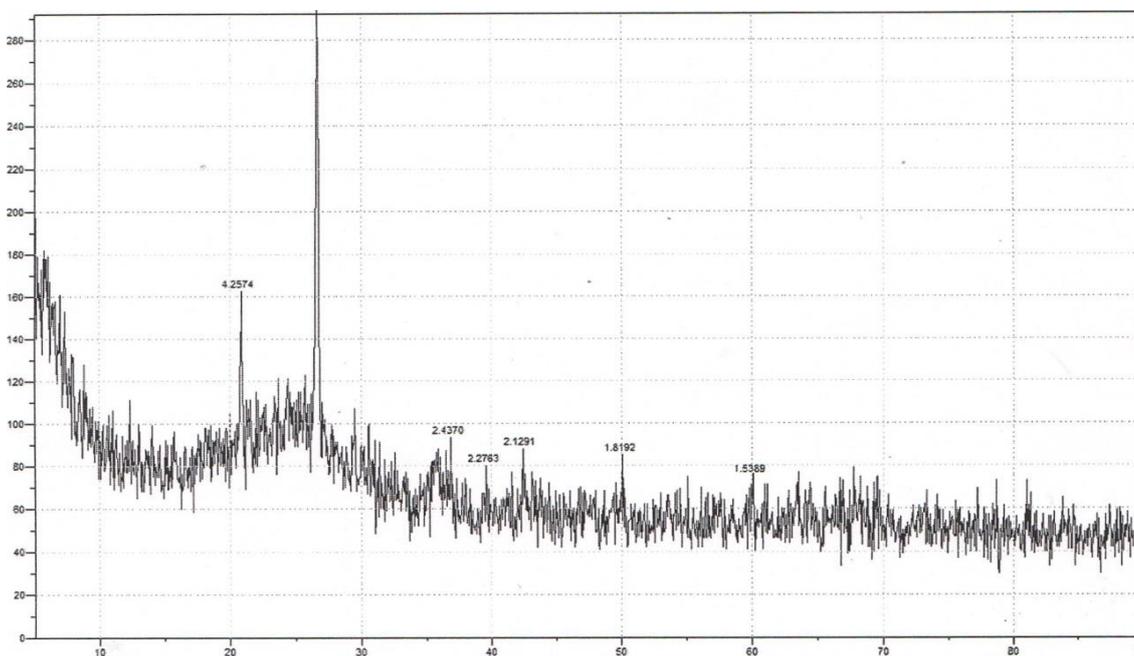


Рисунок 3.2 - Рентгенографический анализ золы

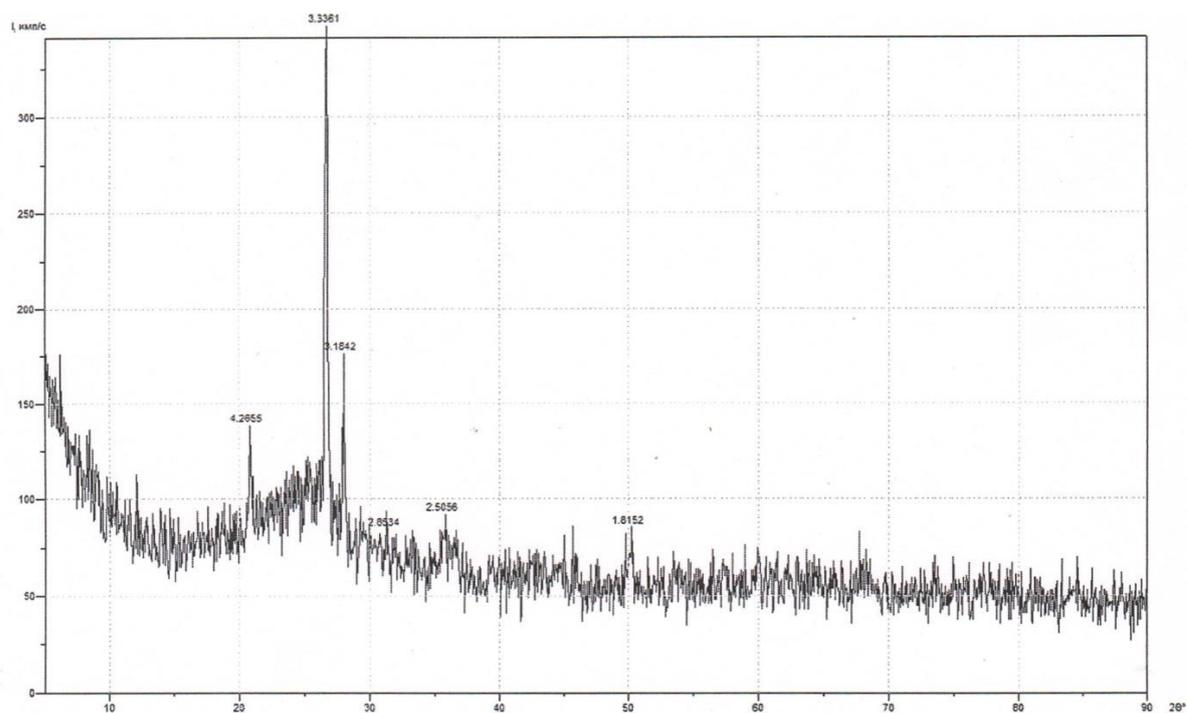


Рисунок 3.3 - Рентгенографический анализ золы (измельчение 1 час)

Изменения в пробах золы, подвергающихся нагреванию при различных температурах, можно увидеть на дериватограмме (рисунок 3.3). Здесь на кривой ДТА при 100-110 °С наблюдается потеря массы и эндотермический эффект указывает на испарение адсорбционной влаги.

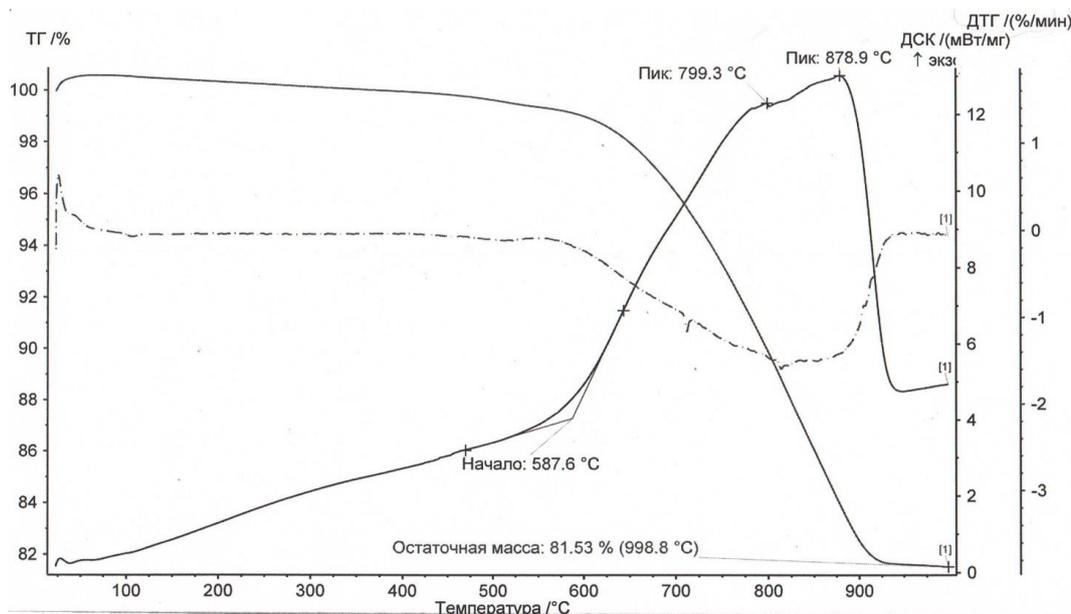


Рисунок 3.4 - Термографический анализ золы

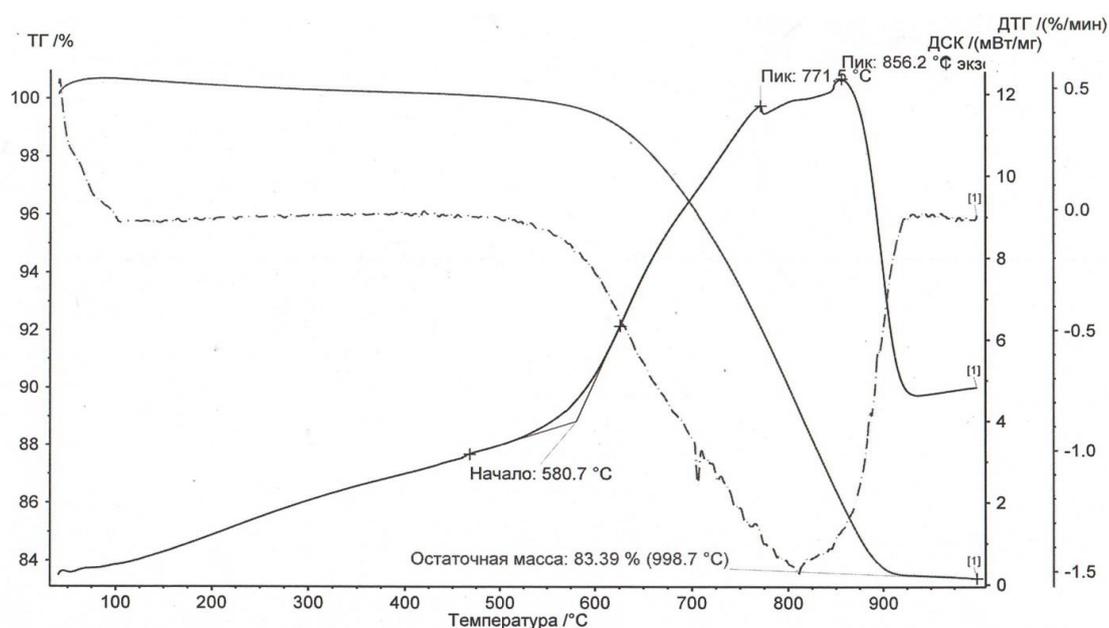


Рисунок 3.5 - ДТА золы при помоле 1 час

В интервале температур 600-650 °С на кривой ДТА эндотермические эффекты свидетельствуют реакции окисления оксидов Fe. А в интервале температур 700-800 °С происходит сжигание коксовых составляющих, сопровождающееся также потерей массы. Разложение карбонатов *Ca* и *Mg* при температурах 800 до 850 °С, на что указывают не большие эндопики.

Таким образом, результаты ДТА подтверждают данные рентгенографического анализа и дают основание судить об устойчивом составе неорганической части золы.

Известно, что золы, хранящиеся длительное время в отвалах, приходят в равновесие с окружающей средой и значительно теряют свою активность.

Повышение дисперсности зольных отходов механоактивацией путем помола позволит повысить их однородность, усилить пуццоланический эффект и усреднить их фракционный состав. В процессе измельчения значительно снижается количество агрегированных частиц, полученных при спекании разнородных микрокомпонентов. Дисперсные ЗШО однороднее и положительно сказываются на долговечности бетонов на вяжущих с их присутствием.

Дальнейшие исследования проводились изучением физико-химических характеристик композиционного золосодержащего вяжущего на основе цемента.

При тонком измельчении золы с цементом происходит активизация процессов структурообразования цементного камня. Известно, что гидратация цемента сопровождается выделением гидроксида Ca при гидролизе силикатов кальция цемента. В композиционных цементных вяжущих содержащиеся в золе $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (моноалюминат кальция) и $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (двухкальциевый силикат) взаимодействуют с оксидами Ca с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция, что дополнительно упрочняет структуру микробетона.

По интенсивным эффектам данных РФА установлено наличие кварцевого песка. Дополнительно прибавляются диагностические линии, свидетельствующие о наличии кварца и кристобалита, присутствующих в золе, интенсивность которых увеличивается по мере их накопления от 10% до 30% (рис. 3.6, 3.7). Из-за интенсивности линий кварца эффекты минеральных фаз цементного камня проявлены слабее, но обнаружены все основные компоненты вяжущего: алит, белит, алюмоферит.

Как отмечалось выше, кислые золы, к которым относятся золошлаковые отходы БТЭЦ, не обладают вяжущими свойствами. А в составе композиционного цементного вяжущего при его твердении приобретают способность взаимодействовать с гидроксидом кальция, т. е. проявляют пуццолановую активность при обычной температуре. Продуктами обжига в золе являются глины, которые представляют собой по результатам исследований, аморфизированное вещество в виде метакаолинита, алюмосиликатного вещества, аморфных SiO_2 , Fe_2O_3 и Al_2O_3 . Данные продукты обладают различной реакционной активностью к $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

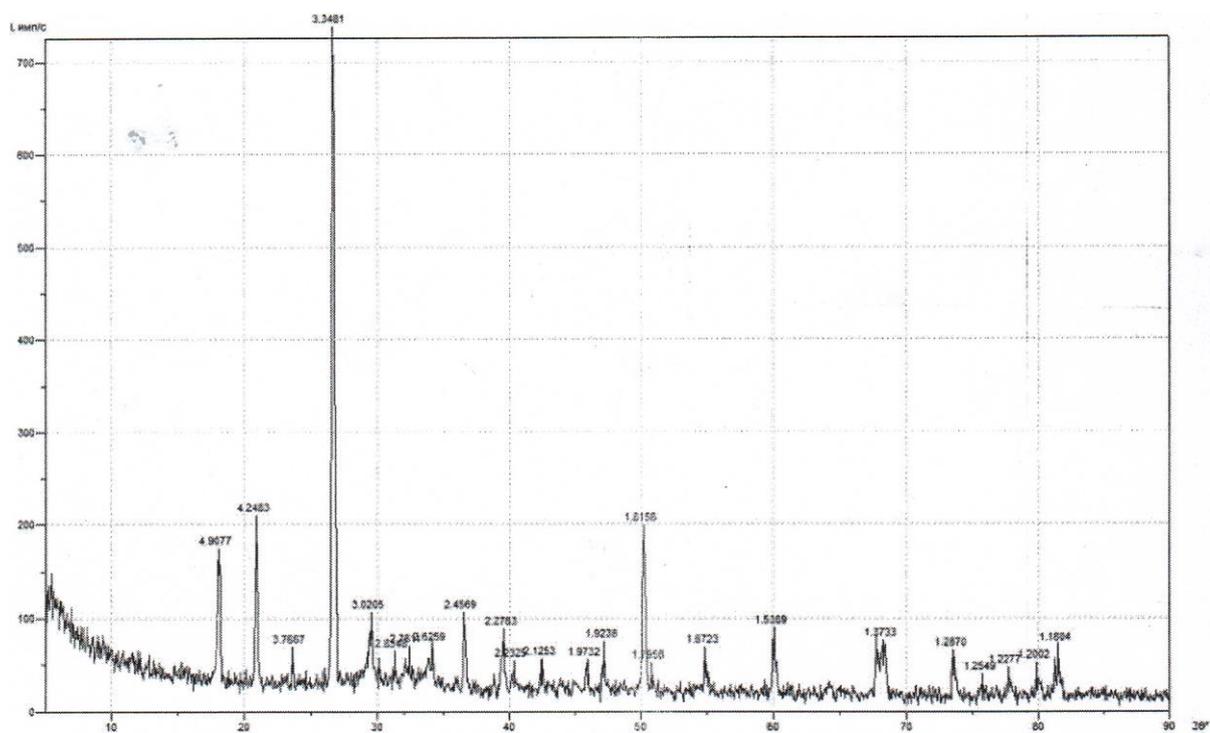


Рисунок 3.6 - Рентгенографический анализ композиционного вяжущего с содержанием золы 10 %

Большей активностью обладает метакеолинит высокой удельной поверхности и при взаимодействии с гидроксидом Са образует гидросиликаты кальция и гидрогеленит.

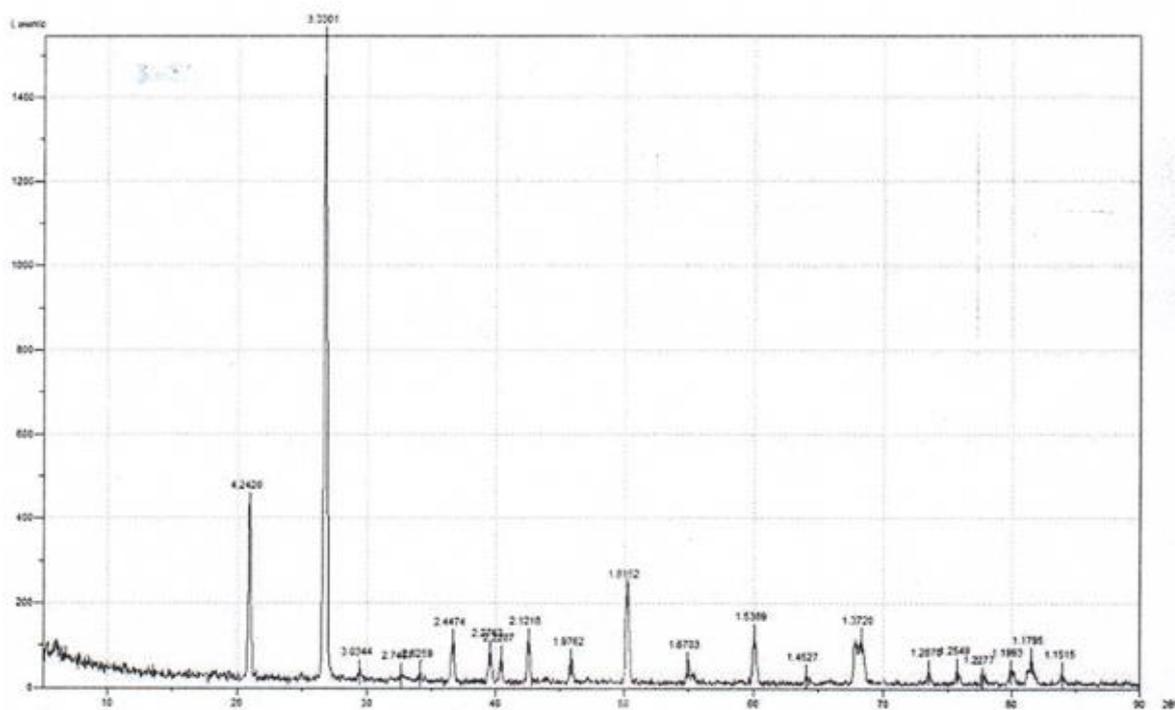


Рисунок.3.7 - Рентгенографический анализ композиционного вяжущего с золой 30 %

При повышенных температурах обжига продукты разложения каолинита образуют кремнезем и глинозем меньшей активности, которые вследствие спекания имеют меньшую дисперсность.

Следует отметить, что при повышенных температурах реакционная способность алюмосиликатной фазы кварца и полевых шпатов, находящихся в золе, значительно возрастает по сравнению с их активностью при обычной температуре.

Как отмечает А.В. Волженский, рост гидратационной способности аморфизированного глинистого компонента обусловлен его высокой удельной поверхностью и соответственно процессом разложения метокоолинита на аморфные SiO_2 и Al_2O_3 .

Изучение активности золы гидроудаления проводилось по ее способности поглощать известь из известкового раствора, где установлено, что в течении 28 суток из известкового раствора поглощение CaO возрастало от 0 до 52,1 мг/зола, г.

В процессе гидратации КЦВ при повышенном содержании жидкой фазы (нормальная густота равна 26 - 28 %) наличие кислых зольных отходов благоприятствует образованию гидросиликатов группы $\text{CSH}(\text{B})$

Показатели степени гидратации вяжущих (цемента и цементозольного камня) в на 1, 3, 7, 28 и 150 сутки (табл. 3.7.) определялись по наличию химически связанной воды и свободной окиси кальция.

В таблице 3.5. показано, что за 150 суток гидратации цементного камня увеличивается количество гидратных новообразований, уменьшается диаметр клинкерных зерен и медленно снижается количество свободной извести от 11,48 до 5,18 %. Цементный камень в основном состоит первоначально из гидратированной гелеобразной массы, где проглядываются поры и остаточные зерна клинкера.

Таблица 3.5. – Показатели степени гидратации цементного и цементно-зольного камня

Наименование		Сутки твердения	Содержание в образцах, %
Цементный камень	Гидратная вода	1	12,81
		3	13,53
		7	13,46
		28	14,83
		150	15,07
	Свободная известь	1	11,48
		3	5,40
		7	5,34
		28	5,26
		150	5,18
Цементно-зольный камень	Гидратная вода	1	10,27
		3	10,89
		7	10,94
		28	11,08
		150	12,05
	Свободная известь	1	0,48
		3	0,38
		7	0,31
		28	0,31
		150	0,30

Для цементно-зольного камня степень гидратации значительно отличается, здесь наблюдается заметное снижение количества свободной извести. По мере выделения ее из раствора при гидратации клинкерных минералов сказывается пуццоланический эффект золы, т.е. процесс взаимодействия извести и активных составляющих золы гидроудаления, свободная известь на 150 сутки равна 0,3 %. Структура цементно-зольного камня более плотная и прочная за счет образования дополнительного количества новообразований в матрице микробетона.

3.3. Основные физико-механические свойства композиционных вяжущих с золошлаковыми отходами

Массовое широкомасштабное потребление строительной индустрией золошлаковых отходов в том виде, которое хранится в золоотвалах, кроме золы-унос с электрофильтров, сдерживается нестабильностью их химического и гранулометрического состава.

Возможны 2 пути утилизации золошлаковых отходов при производстве минеральных вяжущих веществ. Первое, использовать как активные МД к клинкеру на цементном заводе. И второе, непосредственно на цементном заводе с сохранением требуемых нормативных характеристик или непосредственное введение в цемент предварительно подготовленного активацией золошлакового сырья, с сохранением требований нормативных характеристик

Изучение основных физико-механических характеристик композиционных вяжущих с использованием золы гидроудаления и золошлаковых смесей проводилось на смесях, полученных двумя разными технологическими приемами: механическое смешивание с цементом предварительно подготовленных топливных отходов и совместное измельчение топливных отходов с цементом.

Таким образом получали и оценивали следующие композиционные вяжущие:

ЦЗВ_м – механически перемешанная смесь просеянной золы гидроудаления и цемента;

ЦЗВ_и – измельченная смесь золы гидроудаления и цемента;

ЦЗШВ_м - механически перемешанная смесь просеянной золошлаковой смеси и цемента;

ЦЗШВ_и- измельченная смесь золошлаковой смеси и цемента.

3.3.1. Композиционные вяжущие вещества с использованием золы гидроудаления

При изготовлении смешанных цементов наиболее эффективным считается совместное измельчение цемента с наполнителями из минеральных добавок. По сравнению с «разбавлением» цемента тонкомолотыми МД в бетономешалках или смесителях.

При совместном помоле с цементом золные частицы дополнительно диспергируются и измельчаются более прочными и твердыми зернами клинкерной составляющей.

Совместный дополнительный помол золы с цементом позволяет получить более тонкие частички золы и при этом зерна клинкера выступают в роли мелющих тел, вследствие их повышенной прочности [228]. Повышается дисперсность стеклофазы, содержащейся в золе в пределах 20...30 % и тем самым увеличивая ее гидравлическую активность.

Удельная поверхность золы гидроудаления Бишкекской ТЭС составляет 2230-2250 см²/г, имеет истинную плотность 1,82-2,20 г/см³ и среднюю насыпную плотность 800-850 кг/м³.

Известно [19], что если удельная поверхность золы выше дисперсности цемента на 150-170 м²/кг, эффективность ее применения значительно возрастает.

На рисунке 3.8 можно увидеть увеличение удельной поверхности золы ГУ при помоле в шаровой мельнице и вследствие разрушения гранул золы их активизация. При измельчении в течении 0,5 часа удельная поверхность золы ГУ составляет 310 м²/кг, достигая дисперсности цемента. Дальнейший помол золы в течении 1 часа позволил получить дисперсность 360 м²/кг, и при помоле в течении 1,5 часа удельная поверхность составила 380 м²/кг. При измельчении в течении 3 часов существенного роста дисперсности золы ГУ не наблюдается и колеблется в пределах 390 м²/кг.

По результатам степени измельчения во времени можно судить о хорошей размалываемой способности золы ГУ.

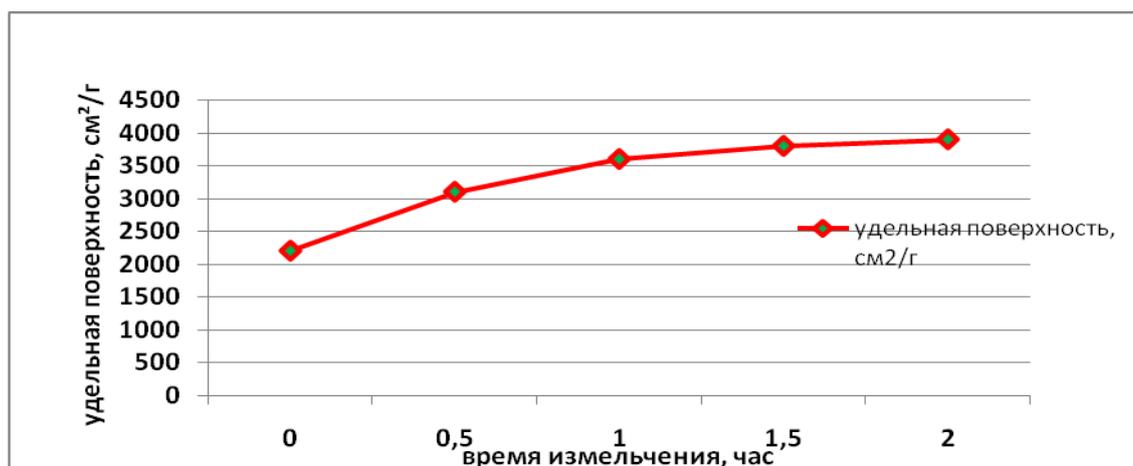


Рисунок 3.8 - Зависимость удельной поверхности золы ГУ от времени помола

Оптимальное соотношение цемента и наполнителя из зольных отходов определенной дисперсности предопределяет образование мелкозернистой структуры композиционного вяжущего. Скорость гидратации и твердения вяжущего возрастает, увеличивается прочность и частицы наполнителя окружены продуктами гидратации цемента. Зола ГУ снижает пустотность цементной матрицы и имеет с ней определенную когезионную прочность, однако необходимо учитывать изменение реологических свойств вяжущего по мере его наполнения.

В данных исследованиях испытания свойств композиционных вяжущих проводились на ПЦ М 400 активностью 33.3 МПа. Содержание золы ГУ составляло 10 ... 50 %. Совместный помол золы ГУ с цементом проводили в течении 1 час.

В таблицах 3.6. и 3.7. приведены результаты испытаний образцов композиционных вяжущих ЦЗВ_м (механически смешанного) и ЦЗВ_и (совместно измельченного).

Известно, что негативное влияние на характеристики КЦВ оказывает наличие невыгоревших угольных частиц. Однако нет доказательств, что при

использовании золы с п.п.п. 10-20 % отрицательно сказывается на долговечности бетона. Основная часть несгоревших угольных частиц представляет собой ококсированные частицы угля, не вызывающие в объеме цементного камня ощутимых деструктивных изменений.

В случае уменьшения процентного содержания оксидов, участвующих в реакциях с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, снижается гидравлическая активность золы.

Несгоревшие частицы в золе представлены в основном ококсированными частицами, которые не претерпевают изменений и не приводят к объемным изменениям.

Таблица 3.6. – Основные свойства цемента-золевого вяжущего (ЦЗВм)

№ составов	Отношение Ц : Зола, %	Нормальная густота, %	Тонкость помола, % сито 008	Время схватывания, мин		Прочность, МПа			
				начало	конец	После ТВО		После 28 сут.	
						$R_{изг.}$, МПа	$R_{сж.}$, МПа	$R_{изг.}$, МПа	$R_{сж.}$, МПа
1	100 : 0	24	87	96	446	4,122	19,32	6,881	33,46
2	90 : 10	28	87,7	100	261	4,82	18,1	4,28	21,4
3	70 : 30	30	88,5	110	403	4,11	13,6	3,2	18,29
4	50 : 50	32	89,2	146	390	3,3	10,6	2,8	10,14

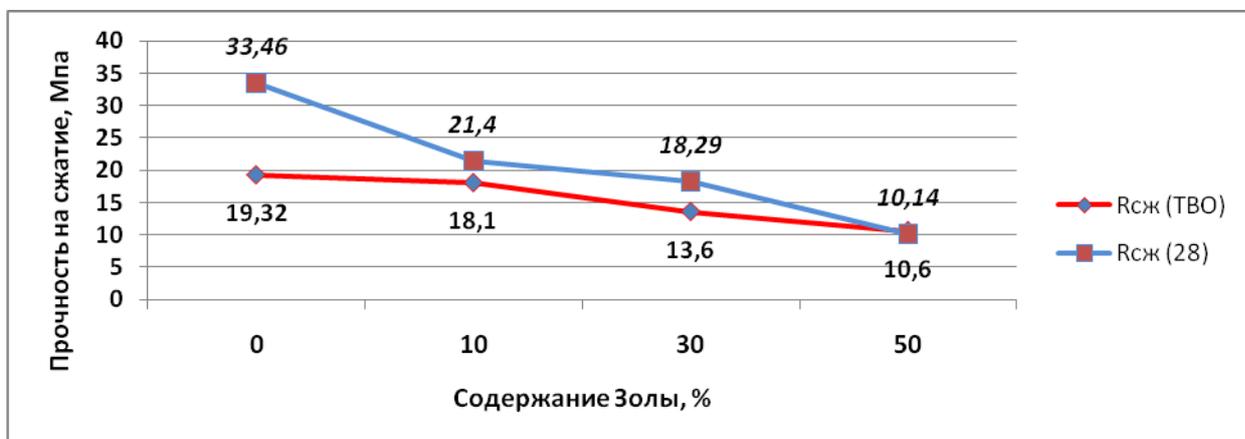


Рисунок 3.9 - Показатели прочности на сжатие ЦЗВм после ТВО и 28 суток

Особое значение в композиционных вяжущих имеет дисперсность золы и предпочтение отдается активизированным золам оптимальной дисперсности с небольшим содержанием невыгоревших угольных частиц. Причем существенным значением является не столько высокая степень дисперсности, а сам процесс разрушения и нарушения стекловидной оболочки частиц золы, что повышает соответственно реакционную способность взаимодействия с гидроокисью Са.

В таблице 3.8. показано, что для механически перемешанного композиционного вяжущего ЦЗВ_м при увеличении в нем содержания золы ГУ с 10 - 50 % нормальная густота зольного цемента растет с 28 - 32 %.

Вяжущее с золой ГУ в количестве 10 %, которая не подвергалась измельчению имеет тонкость помола 87,7 %, сравнима с тонкостью помола исходного цемента. В случае использования золы ГУ 50 % в вяжущем ЦЗВ_м тонкость помола увеличится до 89,2 %. Следует отметить, при использовании золы в естественном немолотом состоянии не приводит к повышению прочности, это обусловлено тем, что мелкие частицы и верхняя оболочка зольной частицы остаются нетронутыми.

С увеличением удельной поверхности золы ГУ дополнительным помолом наблюдается изменение водопотребности вяжущего.

Водопотребность вяжущих после помола может увеличиваться до 32 % вследствие наличия микротрещин в остеклованных частицах золы и заполнения микро и макропор водой.

Совместно измельченное вяжущее ЦЗВ_и в течении 1 часа характеризуется усредненным зерновым и минералогическим составом золы (таблица 3.9).

Водопотребность зольных цементов ЦЗВ_м и ЦЗВ_и при наполнении золой 10 % остается на уровне 28 %. При дальнейшем «разбавлении» НГ, т.е. ЦЗВ_и немного ниже по сравнению с композиционными вяжущими ЦЗВ_м

Таблица 3.7. - Свойства измельченной смеси золы гидроудаления и цемента в течении 1 часа

№ состава	Отношение компон-в Ц : Зола, (%)	Нормальная густота, %	Тонкость помола, ч/з сито 008%	Сроки схватывания мин.		Предел прочности, МПа			
						После ТВО		28 суток нормального твердения	
				начало	конец	R _{изг.} , МПа	R _{сж.} , МПа	R _{изг.} , МПа	R _{сж.} , МПа
1	100:0	24	87	96	447	4,12	19,32	6,88	33,46
2	90:10	28	89	95	243	5,4	21,7	5,7	32,7
3	70:30	29	90,0	108	350	5,05	20	3,6	21,8
4	50:50	30	91,4	126	361	4,8	17,2	3,5	21,6

При количестве в вяжущих ЦЗВ_м и ЦЗВ_н 30 % золы – НГ составляет 30 и 29 %; при 50 % количестве золы золы ГУ – 32 и 30 % соответственно.

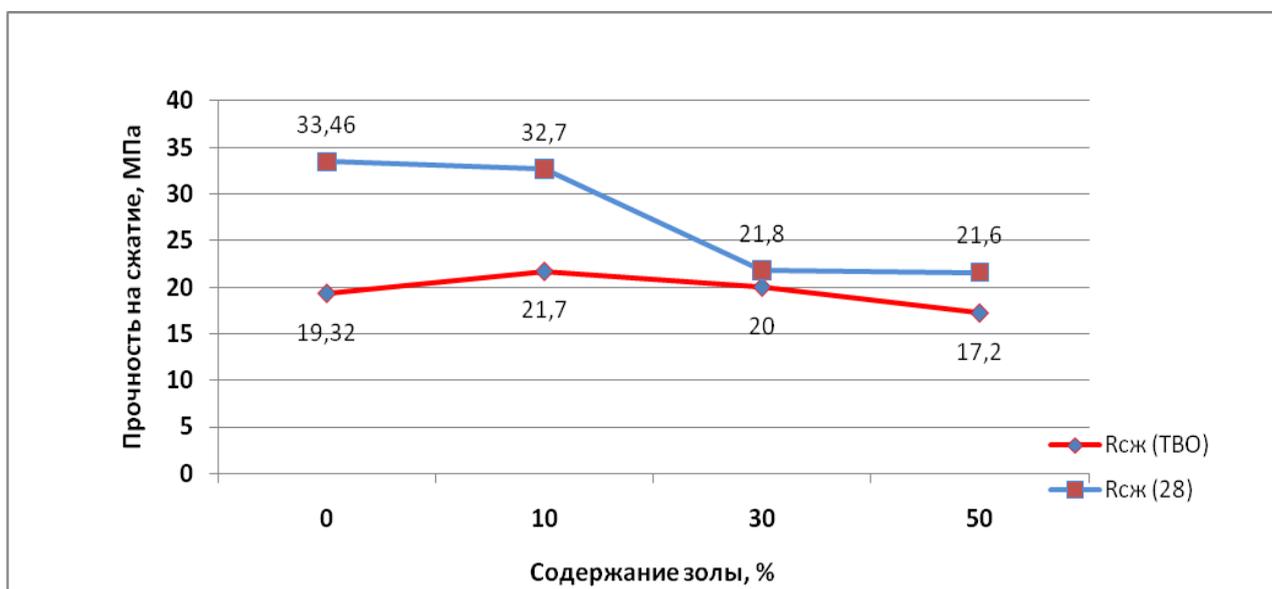


Рисунок 3.10 - Прочность на сжатие вяжущего ЦЗВ_н измельченного в течении 1 часа после ТВО и после 28 сут. твердения в НУ.

Эффективность использования золы ГУ в цементе при твердении в условиях ТВО заметно возрастает. При наличии в цементе 10 % золы

дисперсностью 3000 - 5000 см²/г снижение прочности образцов 28 суточного твердения не происходит. При ТВО ≥ 80 °С наблюдается рост прочности образцов вяжущего на 14 % (рисунок 3.10). При повышении температуры среды компоненты золы активизируются и чем выше температура, тем быстрее схватывается композиционное вяжущее, увеличивается его водостойкость и прочность цементного камня.

Следует отметить, что после 28 суток прочность при сжатии образцов вяжущего ЦЗВ_и оказалась выше, чем из ЦЗВ_м. Здесь сказывается положительный эффект активации зольной составляющей, а при механическом перемешивании основным доминирующим является процесс гидратации цемента. При этом происходит ускоренная гидратация частиц цемента за счет запасенной в них внутренней энергии, что приводит к быстрому росту крупнозернистых кристаллов типа портландита и гидросульфоалюмината кальция, срастание которых между собой происходит в термодинамически невыгодных условиях. Следствием этого являются внутренние напряжения в твердеющем цементном камне, ответственные за незначительный рост или даже снижение прочности камня в позднем возрасте.

Композиционное механоактивированное вяжущее ЦЗВ_и обеспечивает более высокие показатели прочности в 28 суточном сроке, чем вяжущие ЦЗВ_м механически смешанные. Это обусловлено более интенсивным связыванием свободной извести с образованием низкоосновных гидросиликатов, обладающих высокими показателями прочности и долговечности.

На таблице 3.7. и 3.8. видно, что при одинаковой водопотребности (28 %) вяжущих с содержанием золы 10 % прочность измельченного ЦЗВ_и оказалась в 1,53 раза больше нежели у вяжущего механически смешанного ЦЗВ_м. При увеличении золы до 50 % в составе вяжущего ЦЗВ_и превалирующая роль в процессах гидратации принадлежит зольному компоненту.

Результаты испытаний образцов вяжущего ЦЗВ_м после ТВО показали, что при 10 % содержании золы они имели $R_{сж}^{ТВО} = 18,1$ МПа, что составляет 90 % прочности образцов $R_{сж}^{28} = 21,1$ МПа твердевших 28 суток.

Зола с 30 % содержанием в вяжущем прочность сжатия $R_{сж}^{ТВО} = 13,6$ МПа равна 80 % от прочности сжатия после термовлажностной обработки $R_{сж}^{28} = 18,29$ МПа.

Золой с 50 % добавлением в композиционное вяжущее прочность $R_{сж}^{ТВО} = 10,6$ МПа равна прочности на сжатие после 28 суток твердения в НУ $R_{сж}^{28} = 10,14$ МПа.

Для вяжущих ЦЗВ_и образцы после ТВО с 10 % количеством золы набирали $R_{сж}^{ТВО} = 21,7$ МПа, что соответствует 70 % прочности образцов нормального твердения $R_{сж}^{28} = 32,7$ МПа. Для ЦЗВ_и при содержании 30 % золы после ТВО образцы имели $R_{сж}^{ТВО} = 20$ МПа, что соответствует 90 % от $R_{сж}^{28} = 21,8$ МПа. Однако при 50 % наличии золы в вяжущем $R_{сж}^{ТВО} = 17,2$ МПа, что соответствует уже 80 % от прочности $R_{сж}^{28} = 21,6$ МПа.

Полученные данные доказывают, что механоактивированные вяжущие ЦЗВ_и быстрее набирают прочность в условиях ТВО вследствие повышенной активности полиминеральных частиц золы. Их высокая дисперсность препятствует процессу коагуляции частиц цемента, а при взаимодействии с окисью Са образует мелкокристаллическую структуру композиционного вяжущего.

3.3.2. Оптимизация рецептурно-технологических факторов вяжущего с использованием золы гидроудаления

Предварительные результаты исследований показали, что для успешной реализации возможности «разбавления» вяжущих золой ГУ желательно проводить ее активацию совместно с цементом.

Для определения оптимальной зоны рецептурно-технологических факторов, где удовлетворяются нормативные требования к композиционным вяжущим (ЦЗВ_и) на основе золы ГУ проводился дополнительный этап исследований.

Для проведения 2-х факторного эксперимента в качестве входных переменных выбраны: X_1 - содержание золы 10; 20; 30, %; X_2 - время измельчения 0; 1; 2 часа.

При нормализации переменных для расчёта и анализа математических моделей принято обозначать: верхний уровень (максимальное значение) факторов $x_1, x_2 = +1$; нулевой (средний) уровень $x_1, x_2 = 0$; нижний (минимальное значение) $x_1, x_2 = -1$.

Выходными параметрами качества служили (таблица 3.10.):

Y_1 - начало схватывания, час;

Y_2 – конец схватывания; час;

Y_3 - плотность после ТВО (ρ^{TBO}), г/см³;

Y_4 - $R^{TBO}_{изг}$, МПа;

Y_5 - $R^{TBO}_{сж}$, МПа;

Y_6 - плотность после 28 суток (ρ^{28}), г/см³;

Y_7 – прочность изгиба после 28 суток естественного твердения $R^{28сут}_{изг}$, МПа;

Y_8 - прочность сжатия после 28 суток естественного твердения $R^{28сут}_{сж}$, МПа;

Y_9 - коэффициент размягчения (K_p).

В таблице 3.8. представлены план и результаты двухфакторного эксперимента.

Таблица 3.8. - План и результаты эксперимента типа 2^3

№ опыта	План эксперимента				Результаты испытаний в опытных точках								
	Нормализованные переменные		Натуральные переменные		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	Y_8	Y_9
	x_1	x_2	X_1 -зола ГУ, %	X_2 -время изм., ч	Нач схват., час	Кон схват., час	ρ^{TBO} г/см ³	$R^{TBO}_{изг}$ МПа	$R^{TBO}_{сж}$ МПа	ρ^{28} г/см ³	R_{28} сут.изг МПа	R_{28} сут.сж МПа	K_p
1	-1	-1	10	0	3,98	10,55	2,21	5	18,4	2,17	5,33	21,4	1,18
2	1	-1	30	0	5,28	11,62	2,16	5,92	14,2	2,14	5,87	18,32	1,02

3	-1	1	10	2	3,57	9,23	2,2	5,07	24,9	2,19	5,95	37,15	1,12
4	1	1	30	2	2,67	9,2	2,18	5,88	22,8	2,17	5,51	30,41	1,13
5	1	0	30	1	4,42	10,83	2,18	6,23	20,6	2,13	5,32	28,8	1,14
6	-1	0	10	1	2,5	9,97	2,23	5,52	22,1	2,19	5,37	35,71	1,12
7	0	1	20	2	4,22	9,25	2,22	5,51	23,4	2,18	5,51	32,45	1,4
8	0	-1	20	0	5,5	9,58	2,19	5,14	16,6	2,17	5,52	22,92	1,03
9	0	0	20	1	3,43	9,06	2,2	5,5	21,2	2,15	5,25	30,94	1,08

Реализация эксперимента по плану типа 2^3 позволила рассчитать коэффициенты регрессии экспериментально-статистических моделей свойств вяжущего ЦЗВ_и, номограммы для каждого рассматриваемого свойства представлены ниже следующими формулами (3.1 – 3.9):

$$Y_1 (\text{начало схв}) = 3,88 + 0,39 x_1 - 0,65x_1^2 - 0,72 x_2 + 0,75 x_2^2 - 0,55 x_1x_2 \quad (3.1)$$

$$Y_2 (\text{конец схв.}) = 9,33 + 0,32 x_1 + 0,94x_1^2 - 0,68 x_2 + 0,05 x_2^2 - 0,28 x_1x_2 \quad (3.2)$$

$$Y_3 (R^{\text{тво}}) = 2,21 - 0,02 x_1 - 0,001x_1^2 - 0,007 x_2 + 0,01 x_2^2 + 0,007 x_1x_2 \quad (3.3)$$

$$Y_4 (R^{\text{тво}}_{\text{изг}}) = 5,60 + 0,41 x_1 + 0,22x_1^2 + 0,07 x_2 - 0,03 x_2^2 - 0,03 x_1x_2 \quad (3.4)$$

$$Y_5 (R^{\text{тво}}_{\text{сж}}) = 21,23 - 1,3 x_1 + 0,1x_1^2 + 3,65 x_2 - 1,25 x_2^2 + 0,53 x_1x_2 \quad (3.5)$$

$$Y_6 (R^{28}) = 2,158 - 0,018 x_1 - 0,002x_1^2 + 0,01 x_2 + 0,013 x_2^2 + 0,002 x_1x_2 \quad (3.6)$$

$$Y_7 (R^{28\text{сут}}_{\text{изг}}) = 5,23 + 0,01 x_1 + 0,13x_1^2 + 0,04 x_2 + 0,30 x_2^2 - 0,25 x_1x_2 \quad (3.7)$$

$$Y_8 (R^{28\text{сут}}_{\text{сж}}) = 31,91 - 2,79 x_1 - 0,14x_1^2 + 6,23 x_2 - 4,71 x_2^2 - 0,92 x_1x_2 \quad (3.8)$$

$$Y_9 (Kp) = 1,15 - 0,02 x_1 - 0,06x_1^2 + 0,076 x_2 + 0,04 x_2^2 + 0,042 x_1x_2 \quad (3.9)$$

По коэффициентам регрессии можно судить о положительном (знак плюс «+») или отрицательном (знак минус «-») влиянии выбранных факторов на характеристики композиционного вяжущего.

Кислые золы, к которым можно отнести рассматриваемую золу ГУ обладают пуццоланическим эффектом, т.е. в составе вяжущего ЦЗВ проявляют способность связывать свободную известь. В начальный период гидратационные процессы в композиционном вяжущем замедляются и продолжают довольно длительное время до 180 суток.

Так для моделей Y_1 и Y_2 (3.1, 3.2) при верхнем уровне $x_1 = +1$, т.е. с увеличением количества золы сроки начала схватывания вяжущего ЦЗВ_и увеличиваются и линейные эффекты имеют значения $b_1 = 0,39$ и $b_1 = 0,32$

соответственно. Анализ коэффициентов моделей Y_1 (3.1) и Y_2 (3.2) позволил установить, что при помоле золы с цементов в течение 2-х часов ($x_2 = +1$) сроки схватывания ЦЗВ_и сокращаются, на что указывают линейные коэффициенты $b_2 = -0,72$ и $b_2 = 0,68$.

Для моделей прочности вяжущего Y_4 (3.4), Y_5 (3.5), Y_7 (3.7), Y_8 (3.8) положительное влияние степени измельчения предварительно можно оценить по линейным коэффициентам при факторе x_2 , которые имеют значения: для $R^{тво}_{изг}$ - $b_2 = 0,07$; $R^{тво}_{сж}$ - $b_2 = 3,65$; $R^{28сут}_{изг}$ - $b_2 = 0,04$; $R^{28сут}_{сж}$ - $b_2 = 6,23$ соответственно.

Линейные эффекты коэффициента размягчения вяжущих по модели Y_9 (3.9) имеют значение $b_1 = -0,02$ указывают его снижении по мере «разбавления» вяжущего и $b_2 = 0,076$ наоборот его повышение при достаточном совместном измельчении. Однако по результатам эксперимента в 9-ти точках фиксируются удовлетворительные показатели $K_p \geq 1,0$.

На номограммах рисунка 3.11-3.15 отчетливо можно увидеть различные варианты сочетаний двух факторов x_1 - количества золы и x_2 - времени измельчения и соответственное изменение свойств композиционного вяжущего (ЦЗВ_и).

На рисунке 3.11 показано, что с увеличением количества золы ГУ в вяжущем сроки начала схватывания ЦЗВ_и удлиняются от 3,5 до 5,5 часа. В случае, когда зола в вяжущем составляет 10 % по мере увеличения времени их совместного измельчения до 2-х часов сроки начала схватывания колеблются в пределах 3,0-3,5 ч.

Время начала схватывания композиционного вяжущего сокращается от 3,0 часов до 4,0 часа, при увеличении концентрации золы в пределах 20-30 % в случае измельчения его в течение одного часа. Дальнейшее измельчение вяжущего до двух часов не сказывается на сроках начала схватывания.

На рисунке 3.11 (б) наглядно можно увидеть, как изменяется время, определяющее конец схватывания композиционного вяжущего по мере увеличения времени его помола. Для механически смешанного вяжущего ЦЗВ_м

т.е. время помола 0 часов, по мере наполнения его золой от 10 до 30 % конец схватывания увеличивается от 10-12 часов, в результате измельчения вяжущего в течении 1 часа рассматриваемый показатель практически не изменяется, когда зола находится в пределах 25 %. Максимальное время помола 2 часа позволяет получить ЦЗВ_и с меньшим временем конца схватывания 9 часов.

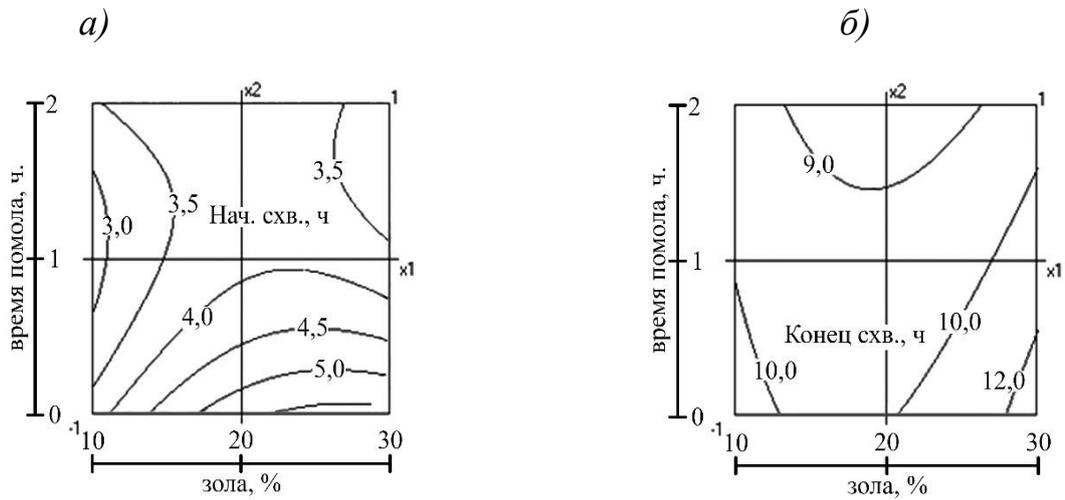


Рисунок 3.11 - Номограммы начала (а) и конца (б) схватывания вяжущего вещества

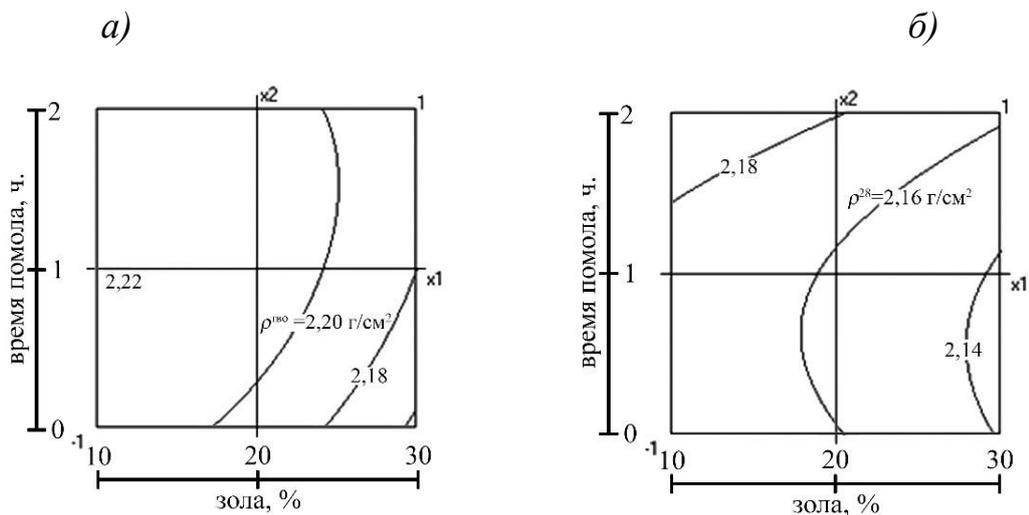


Рисунок 3.12 - Характеристики плотности ЦЗВ в условиях ТВО и после 28 суток нормального твердения $\rho^{TBO}, \rho^{28} = f(x_1, x_2)$

Конгломерат, полученный в результате твердения цементного камня состоит из микро и макрокристаллов а также из гелеобразной массы и назван В.Н.Юнгом микробетоном [89]. Наибольшая плотность структуры цементнозолного камня обеспечивается при наименьшем размере межзерновых пустот.

Результаты предварительного анализа модели плотности и их номограмм (рис. 3.12.) показали, что по мере «разбавления» вяжущего ЦЗВ золой ГУ плотность образцов после ТВО - $\rho^{ТВО}$ снижается от 2,2 до 2,16 г/см².

Для вяжущего твердевшего 28 суток плотность - ρ^{28} также снижается от 2,01 до 2,141 г/см².

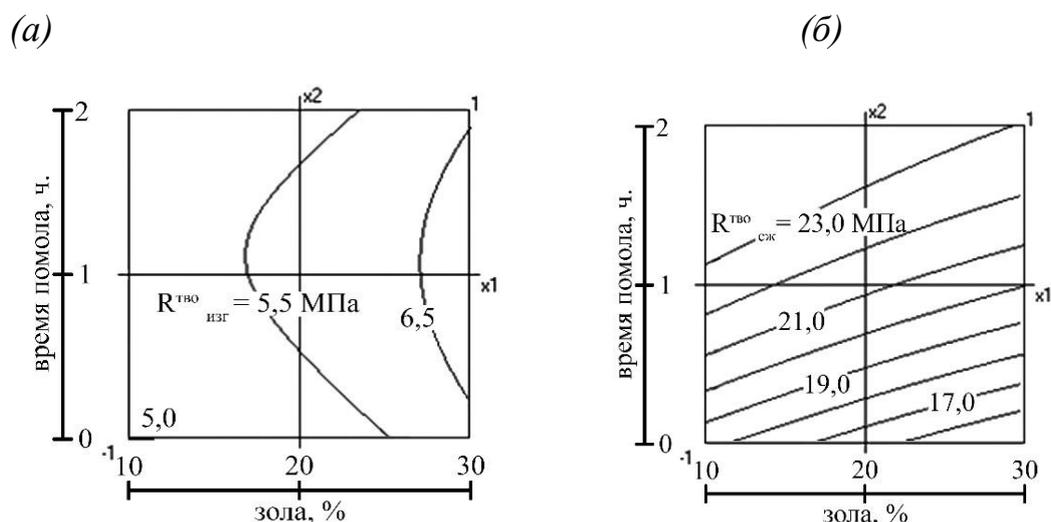


Рисунок 3.13 - Показатели прочности ($R^{TBO}_{изг} = f(x_1, x_2)$) ЦЗВ после ТВО (а) на изгиб; $R^{TBO}_{сж} = f(x_1, x_2)$ (б) на сжатие

Наблюдается некоторое увеличение прочности на изгиб после термовлажностной обработки (Рисунок 3.13) в пределах 5,0 ...6,5 МПа с увеличением концентрации золы ГУ в вяжущем. Время измельчения 2 часа является более оптимальным, поскольку не увеличивает показатель $R^{TBO}_{изг}$. Существенный рост прочности $R^{TBO}_{сж}$ наблюдается увеличении времени помола до 2 часов и рост составляет для ЦЗВ_и при 10 % от 18,5 до 23,0 МПа, добавке золы 20 % от 16,5 до 23,5 МПа и при 30 % золы от 16,0 до 24 МПа.

Но, при помоле в течении два часа вяжущего с золой 20 % прочность его растёт от 16 до 25 МПа, а дальнейшее наполнение золой до 30 % также обеспечивает рост прочности от 16 до 24 МПа

Тогда максимальная прочность ЦЗВ_и > 20,0 МПа достигается у вяжущих с содержанием 10...30 %, но зависит от времени его помола.

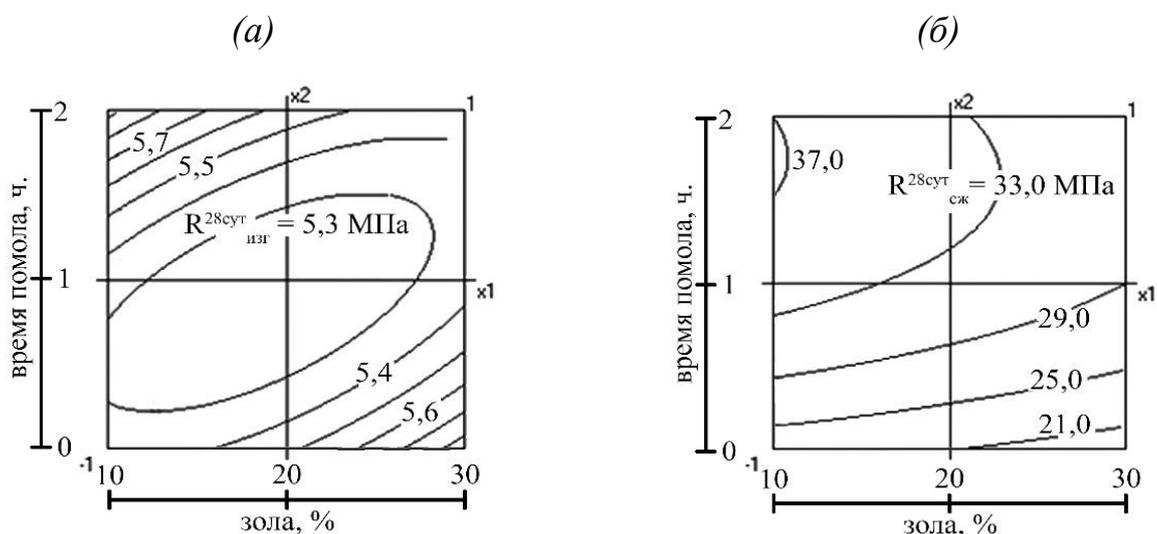


Рисунок 3.14 - Прочность ЦЗВ после 28 суток естественного твердения на изгиб

(а) $R^{28\text{сут}}_{\text{изг}} = f(x_1, x_2)$ и (б) $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = f(x_1, x_2)$ на сжатие

На рисунке 3.14 (а) видна область, где прочность на изгиб ЦЗВ составляет $R^{28\text{сут}}_{\text{изг}} = 5,3$ МПа и факторы имеют фиксированные значения $X_1 = 15...25$ % и $X_2 = 0,5...1,2$ часа. Равнозначные значения $R^{28\text{сут}}_{\text{изг}} = 5,8$ МПа можно обеспечить вяжущему в координатах ($X_1 = 30\%$ и $X_2 = 0$) и ($X_1 = 10\%$ и $X_2 = 2$ часа). В зависимости от постановки задачи выбирается один из вариантов.

Так для достижения максимального значения $R^{28\text{сут}}_{\text{изг}} = 5,8$ МПа и утилизации золы ГУ 30 % достаточно механическое перемешивание цемента и молотой золы ГУ. Однако прочность на сжатие в данной точке составит $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 21,0$ МПа (рисунок 3.14б). Дополнительный помол в течении 1-2 часов позволит получить ЦЗВ_и с прочностью равнозначной прочности исходного цемента $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 33,0$ МПа и при количестве золы ГУ 10 % даже превосходит данный показатель и достигает $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 37,0$ МПа, но при совместном помоле 1,5-2 часа, обеспечивает рост прочности на 56 %.

Таким образом, для обеспечения прочности равнозначной исходному цементу $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 33,0$ МПа оптимальное содержание золы ГУ должно быть 15-22 % и время измельчения 1,0-1,5 часа. Максимальное наполнение золой ГУ 50 % и при помолев течении 1 часа прочность снижается на 12 % и составляет $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 29,0$ МПа.

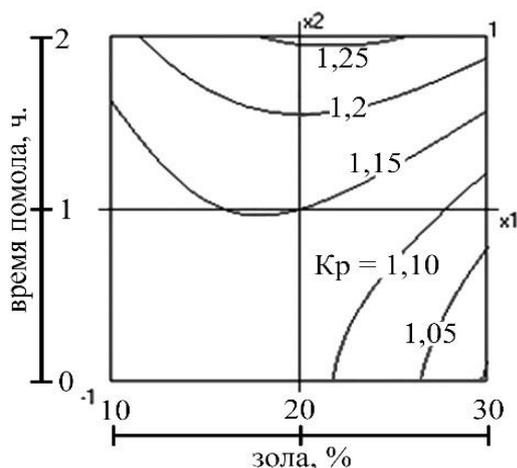


Рисунок 3.15 - Коэффициент размягчения $K_p = f(x_1, x_2)$

На номограмме показано, что коэффициент размягчения составляет $K_p \geq 1,0$ для всей области эксперимента и максимальное значение соответствует $K_p = 1,25$, которое принадлежит составу вяжущего с 20 % количеством золы ГУ при измельчении в течении 2 часов (рисунок 3.15).

Особенностью зольных вяжущих являются повышенная их прочность на изгиб ($R_{\text{изг}}$) по сравнению с цементноминеральными вяжущими. Эта особенность проявляется ярко после ТВО как у ЗЦВ_и, у которых $R_{\text{изг}}$ при добавке до 30 % остается выше $R_{\text{изг}}$ чистого цементного камня, так и ЗЦВ_и, у которых $R_{\text{изг}}$ выше $R_{\text{изг}}$ чистого цементного камня вплоть до повышения количества золы до 50 %.

Таким образом можно констатировать, что достижение необходимой активности композиционного вяжущего обеспечивается целенаправленным регулированием рецептурно-технологических параметров: концентрации золы и времени измельчения. Определенный положительный технический эффект достигается тепловлажностной обработкой образцов вяжущего ЦЗВ.

3.3.3. Композиционные вяжущие с использованием золошлаковой смеси

В принципе измельчение золошлакового сырья обеспечивает разрушение остеклованной поверхностной оболочки частиц, способствуя тем самым повышению их активности. Причем нет необходимости достигать высокой удельной поверхности ЗШС, достаточно обеспечить нарушение стекловидной оболочки, увеличив тем самым их способность связывать гидроксиды кальция [1].

Известно, что при взаимодействии золы с цементом (пуцоллановая реакция) в начальные сроки протекает медленнее и продолжается длительный период до 180 суток. В условиях тепловлажностной обработки коррозия поверхности частиц золы наблюдается через 7-8 часов и отмечается при твердении в нормальных условиях на 28 суток.

В исследовании рассмотрены два способа «разбавления» цемента наполнителями из золошлаковой смеси (ЗШС). В таблице 3.11 для первого случая, представлены свойства ЦЗШВ_м – механическая смесь цемента и ЗШС 0 – 50 %. Видно, что в механической смеси вяжущего ЦЗШВ_м водопотребность (НГ) растет от 27 до 32 % по мере наполнения из золошлаковой смесью.

Проведенные испытания свойств вяжущего показали, что при сравнении с исходным цементом прочность ЦЗШВ_м, твердеющего как в тепловлажностных условиях так и в нормальных условиях 28 суток равнозначна при максимальном количестве золы 50 % (рисунок 3.16).

Так при концентрации 10 % ЗШС в вяжущем ЦЗШВ_м прочность на сжатие образцов после твердения 28 суток равнозначна прочности исходного цемента $R_{сж} = 33,04$, но дальнейшее повышение концентрации ЗШС до 50% приводит к падению прочности от 33,04 до 16,6, т.е. в 2 раза (таблица 3.8).

В условиях ТВО в вяжущем с добавкой ЗШС 10 % наблюдается некоторое превышение эталонной прочности от 19,32 МПа до $R_{сж} = 21,7$ МПа, что обусловлено взаимодействием наполнителя с продуктами гидратации цемента и

созданием дополнительного количества гидросиликатов кальция, усиливающих матрицу цементного камня.

Таблица 3.9. - Влияние добавки ЗШС на свойства ЦЗШВм

№ состава	Отношение компонентов Ц : ЗШС, %	Норм. густота, %	Тонкость помола в %, сито №008	Сроки схватывания (час мин.)		Предел прочности, МПа			
				начало	конец	После ТВО		28 суток норм. твердения	
						$R_{изг.}$ МПа	$R_{сж.}$ МПа	$R_{изг.}$ МПа	$R_{сж.}$ МПа
1	100:0	24	87,0	1ч.36м.	7ч.27м	4,12	19,32	6,88	33,46
2	90:10	27	87,0	2ч.58м.	5ч.12м	5,15	21,7	6,3	33,04
3	70:30	28	88,3	3ч.32м	6ч.12м	4,18	19,4	5,4	27,8
4	50:50	32	89,0	3ч.24м	6ч.4м	4,63	17,1	4,47	16,6

Следует отметить, что прочность на изгиб в условиях ТВО практически не меняется и составляют у образцов исходного цемента $R_{изг}^{ТВО} = 4,12$ МПа и ЦЗШВ $R_{изг}^{ТВО} = 4,63$ МПа. После 28 суточного твердения прочность образцов исходного цемента составила $R_{изг}^{28} = 6,88$ МПа и ЦЗШВ $R_{изг}^{ТВО} = 4,47$ МПа, т.е. наблюдается сброс прочности в 1,5 раза.

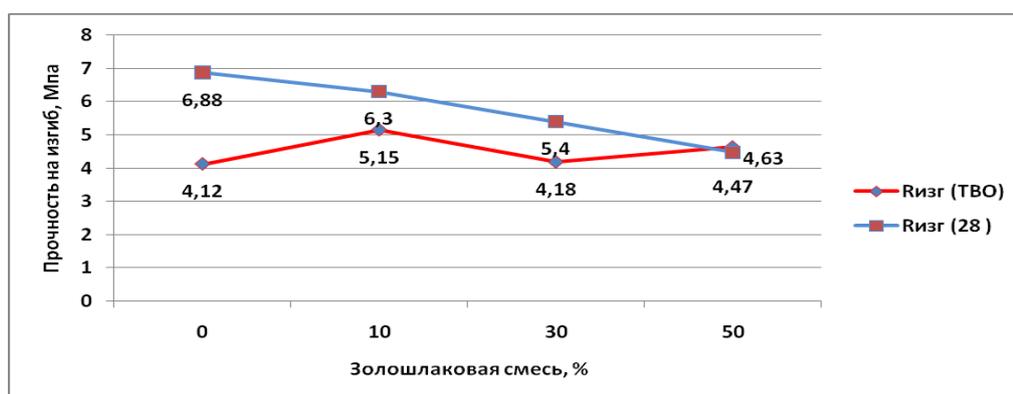


Рисунок 3.16 - $R_{изг}$ - прочность при изгибе образцов ЦЗШВм

Одним из эффективных способов повышения активности вяжущих (наполненных ЗШС) является механо-химическая обработка, которая позволяет

повысить адгезионную активность благодаря вновь образованным поверхностям [2].

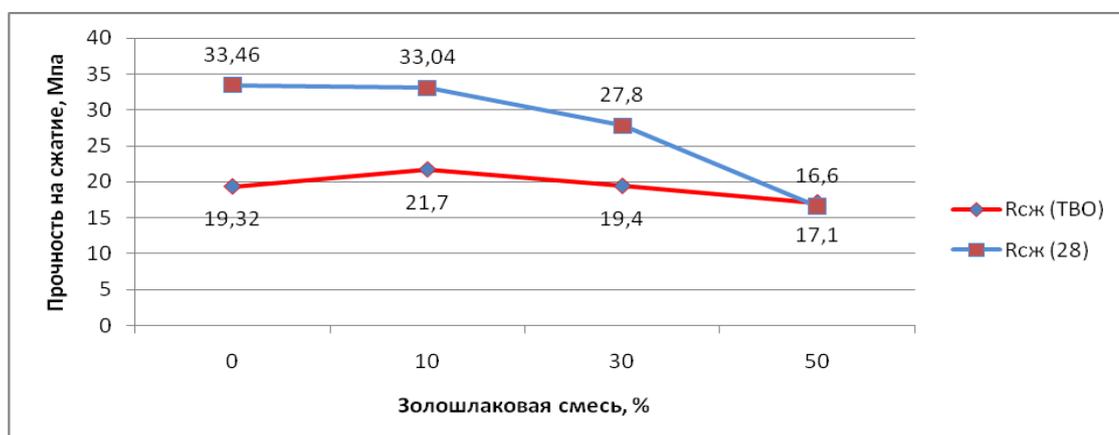


Рисунок 3.17 - R_{сж} -прочность на сжатие образцов ЦЗШВм

В таблице 3.10 показаны результаты определения основных свойств вяжущего ЦЗШВ_и, полученного при совместном измельчении цемента с ЗШС в течение 1 часа.

Таблица 3.10. - Свойства ЦЗШВ_и с добавкой ЗШС

№ состава	Отношение компонентов Ц:ЗШС, %	Норм. густота, %	Тонк. помола, % прошло сита 008	Сроки схватывания час, мин.		Прочность, МПа			
				нач.	кон.	После ТВО		28 сут. твердения	
						R _{изг.} МПа	R _{сж.} МПа	R _{изг.} МПа	R _{сж.} МПа
1	100:0	24	87	1ч.36м	7ч.27м	4,12	19,32	6,88	33,46
2	90:10	26,8	87,6	2ч.25м	4ч.40м	4,4	20,1	6,4	34,44
3	70:30	29	89	2ч.25м	5ч.20м	5,08	19,8	7,95	28,86

Результаты испытаний образцов вяжущего показали, что после ТВО прочность на изгиб R_{изг} остается на уровне исходного цемента: при ЗШС - 0, 10,

30,50 % составила 4,12; 4,4; 5,08 и 4,08 МПа. После 28 суток твердения $R_{изг}$ вяжущего с ЗШС практически не изменилась.

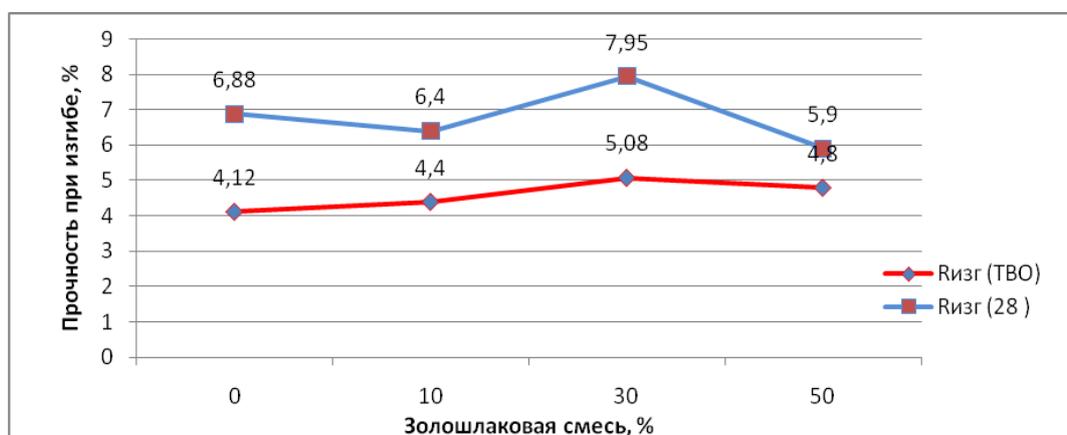


Рисунок 3.18 - Прочность при изгибе ЦЗШВ_и

Прочность на сжатие образцов после ТВО (рис. 3.19) $R_{сж} = 19,8$ МПа была равнозначной исходному цементу до 30 % содержания ЗШО, и при 50 % несколько уменьшилась до $R_{сж} = 18,4$ МПа. После 28 суточного твердения образцы вяжущего с содержанием 10 % ЗШС имели равнозначную прочность с исходным цементом, а дальнейшее «разбавление» до 50 % привело к снижению показателя прочности до $R_{сж} = 28,16$ МПа.

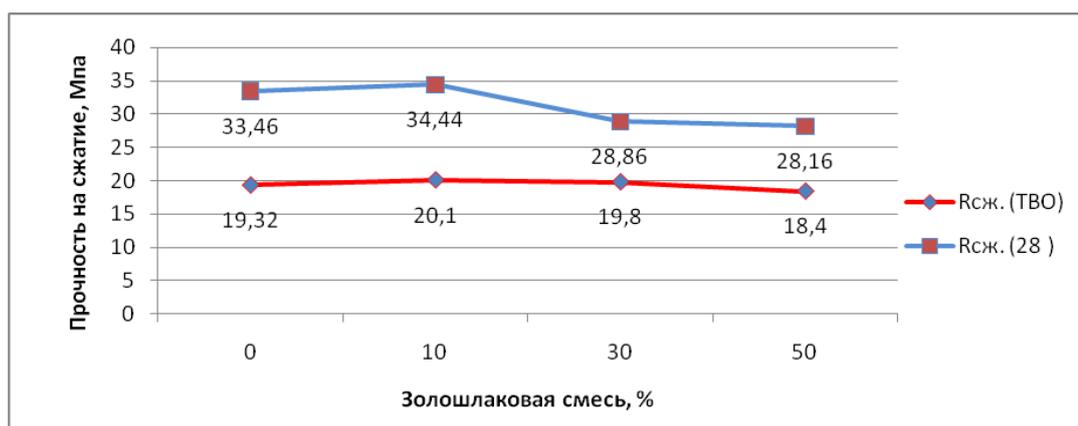


Рисунок 3.19 - Прочность на сжатие $R_{сж}$. ЦЗШВ_и

При сравнении основных свойств вяжущих ЦЗШВ_м (механическая смесь) и ЦЗШВ_и (совместно измельченная смесь) выявлено, что водопотребность механоактивированного вяжущего ниже и зависит от количества введенной

ЗШС. С увеличением добавки ЗШС для вяжущего ЦЗШВ_м нормальная густота увеличилась от 24 до 32 %, а для ЦЗШВ_и от 24 до 32 %. Т.е. по сравнению с ЦЗШВ_м вследствие повышения дисперсности водопотребность ЦЗШВ_и снижается и создается пластифицирующий эффект.

Для исследуемых двух видов композиционного ЦЗШВ наблюдается повышение прочности $R_{изг.}$ образцов твердевших при ТВО и 28 суток в нормальных условиях.

Механическая активация композиционного вяжущего положительно сказывается на процессах структурообразования при гидратации, что подтверждается экспериментальными данными.

В обоих случаях при содержании в вяжущем 10 % ЗШС показатель прочности $R_{сж}$ после 28 суточного выдерживания практически не меняется. А дальнейшее увеличение концентрации ЗШС до 30 и 50 % отрицательно сказывается на механически смешанной смеси цемента и добавки. Для ЦЗШВ_м с ЗШС 30 % прочность составила $R_{сж} = 27,8$ МПа и для ЦЗШВ_и $R_{сж} = 28,8$ МПа, а при 50 % эти показатели уже составили 16,6 и 28,16 МПа.

3.3.4. Оптимизация состава композиционного вяжущего с золошлаковой смесью

Оптимальная область рецептурно-технологических факторов, где удовлетворяются нормативные требования к композиционным вяжущим ЦЗШВ на основе золошлаковой смеси определялась при следующем этапе исследований. Изучалось влияние на основные свойства вяжущего ЦЗШВ степени наполнения золошлаковой смесью и времени измельчения. Причем диапазон изменения концентрации ЗШС в цементе был взят до 50 %, т.е. больше, чем для золы ГУ до 30 %, поскольку она проявила несколько большую эффективность.

При выполнении экспериментальных исследований варьировались два фактора на трех уровнях: $X_1 = 10; 20$ и 30% - количество ЗШС, %; $X_2 = 0; 1; 2$, час – совместный помол.

При нормализации переменных для расчёта и анализа математических моделей принято обозначать: верхний уровень (максимальное значение) факторов $x_1, x_2 = +1$; нулевой (средний) уровень $x_1, x_2 = 0$; нижний (минимальное значение) $x_1, x_2 = -1$.

Выходными параметрами качества служили (в таблице 3.13):

Y_1 - начало схватывания, час; Y_2 – конец схватывания; Y_3 - $R^{тво}_{изг}$, МПа; Y_4 - $R^{тво}_{сж}$, МПа; Y_5 - $R^{28сут}_{изг}$ МПа; Y_6 - $R^{28сут}_{сж}$, МПа.

В таблице 3.11 представлены план и результаты двухфакторного эксперимента.

Таблица 3.11. - План и результаты эксперимента

	План эксперимента				Результаты эксперимента					
	Нормализованные факторы		Натуральные факторы		Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
	x_1	x_2	X_1 - ЗШС, %	X_2 - помол, ч	Схват. начало, час	Схват. конец, час	$R^{тво}_{изг}$ МПа	$R^{тво}_{сж}$ МПа	$R^{28сут}_{изг}$ МПа	$R^{28сут}_{сж}$ МПа
1	-1	-1	10	0	2,97	5,02	5,15	21,7	6,3	33,04
2	1	-1	50	0	3,4	6,07	4,63	17,1	4,47	16,6
3	-1	1	10	2	1,9	4,1	6,8	27,21	7,6	38,8
4	1	1	50	2	2,3	5,2	4,9	20	5,1	32,1
5	1	0	50	1	2,8	5,5	4,8	18,4	5,9	28,16
6	-1	0	10	1	2,4	4,7	4,4	20,1	6,4	34,4
7	0	1	30	2	2,2	5,8	5,6	22,9	6,1	32,8
8	0	-1	30	0	3,53	6,2	4,18	19,4	5,4	27,8
9	0	0	30	1	2,4	5,3	5,08	19,8	7,95	28,86

После проведения эксперимента был рассчитан коэффициенты регрессии, далее были получены экспериментально-статистические математические

модели (3.13 – 3.15) свойств цементозолошлакового вяжущего ЦЗШВ и построены номограммы, изучаемых свойств (рисунок 3.20-3.22).

$$Y_1 - (\text{нач.схв.}) = 2,59 + 0,21 x_1 - 0,08x_1^2 - 0,58 x_2 + 0,18 x_2^2 - 0,01 x_1x_2 \quad (3.10)$$

$$Y_2 - (\text{конец схв.}) = 5,61 + 0,49 x_1 - 0,67x_1^2 - 0,37 x_2 + 0,23 x_2^2 + 0,01 x_1x_2 \quad (3.11)$$

Анализ коэффициентов регрессии модели (3.10, 3.11) показал, что сроки начала и конца схватывания вяжущих ЦЗШВ в основном реагируют на степень измельчения. Линейный эффект (3.10) при втором факторе x_2 составил $b_2 = -0,58$ и знак «-» означает снижение времени начала схватывания вяжущего. По мере наполнения ЗШС до 50 % для вяжущего ЦЗШВ (механическая смесь рисунок 3.20 а), время начала схватывания несколько увеличивается на 15 минут.

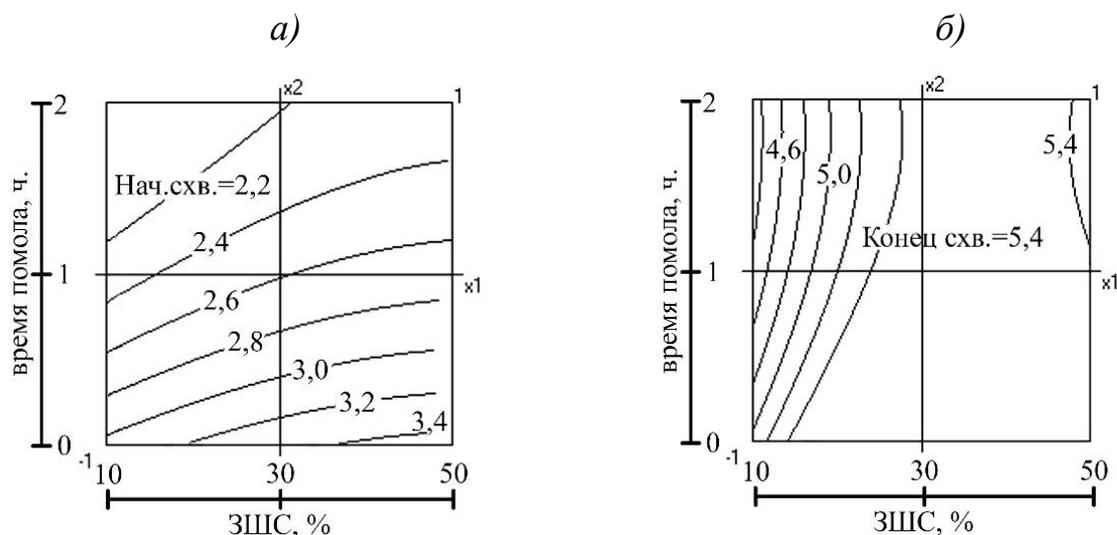


Рисунок 3.20 - Сроки начала (а) и конца схватывания (б) вяжущего ЦЗШВ:

$$Y_1, Y_2 = f(x_1, x_2)$$

Активация вяжущего помолом с ЗШС 10 % от 0 до 2 часа, сроки начала схватывания ЦЗШВ уменьшаются от 3,0 до 2,2 часа. С ЗШС 30 % это время сокращается от 3,4 до 2,0 часа. Равнозначные показатели характерны для смесей с 50 % количеством ЗШС и наблюдается снижение сроков от 3,4 до 2,2 часа. В модели (3.10) линейный коэффициент при факторе x_2 равен $b_2 = -0,58$. Для механических смесей вяжущего ЦЗШВ_м увеличение концентрации ЗШС сроки конца схватывания увеличиваются не значительно и составляют 5,0...5,4

часа. При помоле 2 часа ЦЗШВ_и с ЗШС 30...50 % время конца схватывания (рис.3.15 б) практически постоянно в пределах 5,4 часа.

$$Y_3 - R^{тво}_{изг} = 4,65 - 0,34 x_1 + 0,16x_1^2 + 0,56 x_2 + 0,45 x_2^2 - 0,35 x_1x_2 \quad (3.12)$$

$$Y_4 - R^{тво}_{сж} = 19,4 - 2,25 x_1 + 0,05x_1^2 + 1,99 x_2 - 1,96 x_2^2 - 0,65 x_1x_2 \quad (3.13)$$

В модели (3.12) линейный эффект при факторе (x_2) – время помола ($b_2 = +0,56$) имеет знак «+», что указывает на увеличение прочности с увеличением дисперсности вяжущего измельчением до 2-х часов. На рисунке 3.21(а) видно, что с количеством ЗШС 10 % прочность на изгиб $R^{тво}_{изг}$ после ТВО растет в пределах 4,8...6,4 МПа. Для вяжущего с ЗШС 30...50 % $R^{тво}_{изг}$ меняется в пределах 4,8...5,6 МПа. Линейный эффект при факторе (x_1) равен ($b_1 = - 0,34$), знак «-» указывает на уменьшение $R^{тво}_{изг}$ с увеличением концентрации ЗШС в вяжущем. При помоле 1 час и количестве ЗШС 30 % прочность $R^{тво}_{изг}$ находится в пределах 5,2 ...4,8 МПа, а при помоле 2 часа снижается от 6,4 до 5,0 МПа (рисунок 3.21(а)).

Аналогичное влияние двух факторов можно судить по модели $R^{тво}_{сж}$ (3.13). Коэффициенты регрессии имеют значения ($b_1 = - 2,25$) и ($b_2 = +1,99$).

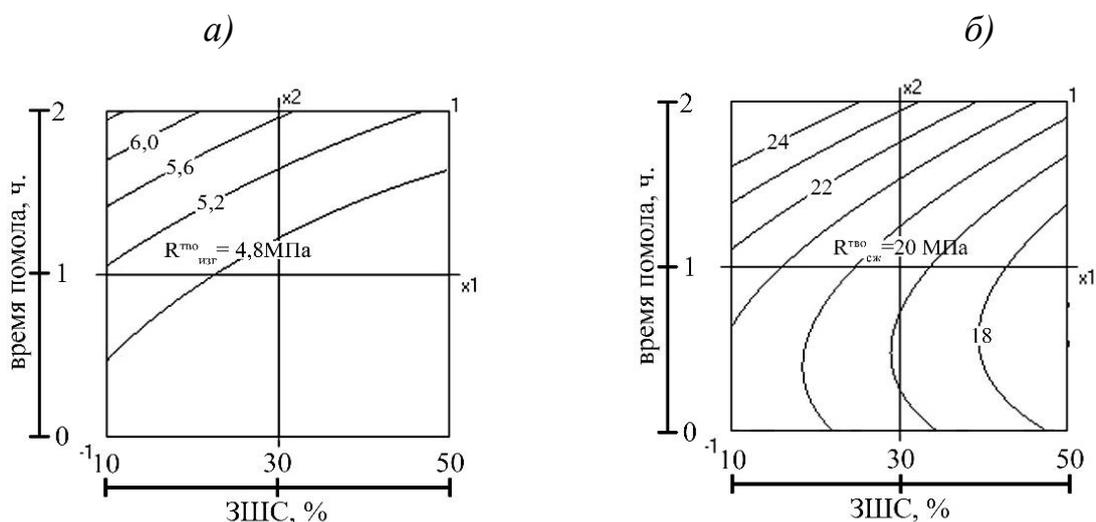


Рисунок.3.21 - Прочность после ТВО вяжущего ЦЗШВ на изгиб $R^{тво}_{изг} = f(x_1, x_2)$ (а) и на сжатие $R^{тво}_{сж} = f(x_1, x_2)$ (б)

На рисунке 3.21(б) видно, что для вяжущего из механической смеси увеличение добавки ЗШС от 10 до 50 % снижает прочность от 21 до 17 МПа.

В активированном помоле вяжущих 1 час по мере роста концентрации ЗШС до 50 % в образцах после ТВО наблюдается спад прочности от 21,0 до 17,5 МПа и далее при измельчении 2 часа составляет от 24,8 до 21,2 МПа.

Если рассматривать конкретное содержание ЗШС в вяжущем, например 30 %, то с увеличением активации до двух часов прочность образцов после ТВО растёт от 19,2 до 23,6 МПа, а для 50 % увеличение $R^{ТВО}_{сж}$ не ощутимо от 17,8 до 2,2 МПа, т.е. помол 2 часа можно считать не эффективным (рисунок 3.21(б)).

Аналогичную зависимость можно увидеть по моделям (3.14 и 3.15), где линейные коэффициенты при факторе x_1 (количество ЗШС) имеют знак «-» и при факторе x_2 знак «+». Знак «-» при квадратичном эффекте ($b_{11} = -0,52$) свидетельствует о наличии зоны оптимальных значений.

$$Y_{(5)} (R^{28сут}_{изг}) = 7,10 - 0,81 x_1 - 0,52x_1^2 + 0,44 x_2 - 0,92 x_2^2 - 0,17 x_1x_2 \quad (3.14)$$

$$Y_{(6)} (R^{28сут}_{сж}) = 29,88 - 4,90 x_1 + 0,90x_1^2 + 4,28 x_2 - 0,38 x_2^2 + 2,44 x_1x_2 \quad (3.15)$$

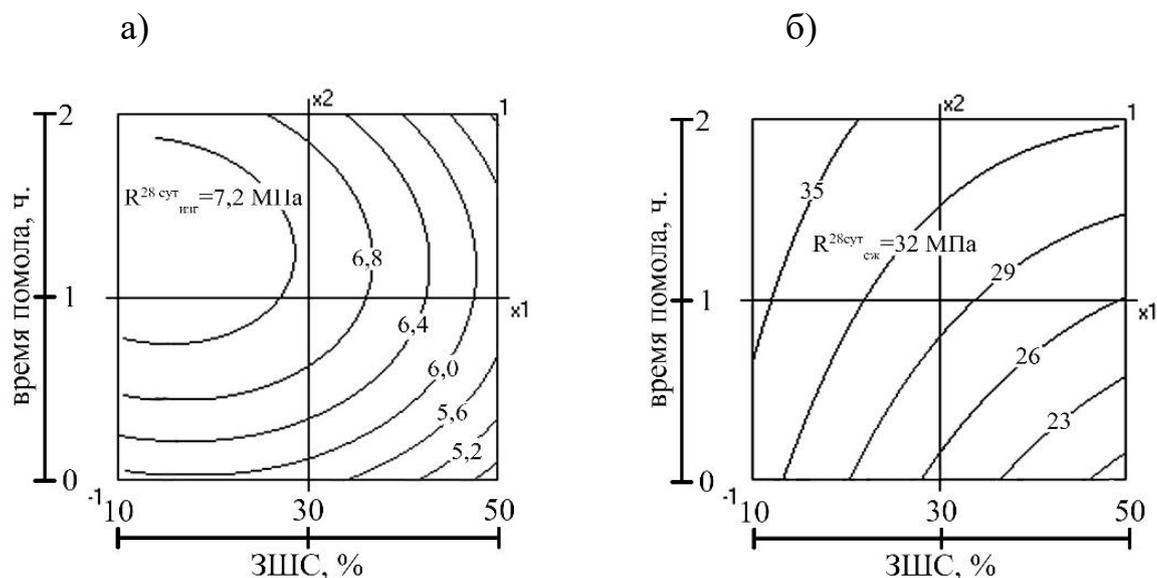


Рисунок 3.22 - Прочность вяжущего ЦЗШВ после 28 суток на изгиб $R^{28}_{изг} = f(x_1, x_2)$ (а) и на сжатие $R^{28}_{сж} = f(x_1, x_2)$ (б)

На номограмме (рисунок 3.22) показана область максимальных значений прочности $R^{28}_{изг} = 7,2$ МПа. Наиболее эффективной областью можно отметить, где количество ЗШС 26...28 % и время измельчения 0,8...1 час.

Как и было показано выше с увеличением количества ЗШС в вяжущем до прочностные показатели падают при различных степенях измельчения.

$R^{28сут}_{сж}$ возрастает при активации вяжущего с 10 % ЗШС от 31 до 38 МПа, с ЗШС 30 % увеличивается от 22 до 33 МПа, с ЗШС 50 % от 22 до 32 МПа.

Следовательно, максимальная утилизация ЗШС 50 % в композиционное вяжущее ЦЗШВ при достижении показателя прочности 29-32 МПа возможна только при условии его активации помолом 1,5 -2 часа.

3.3.5. Оценка эффективности золосодержащих вяжущих веществ

На современном этапе развития современной технологии в строительстве актуальным является широкое использование многокомпонентных цементов и бетонов с активными минеральными добавками.

Особое внимание к техногенным отходам промышленности, к которым в частности относятся золошлаковые отходы, направлено на максимальную их утилизацию в производстве строительных композитов, что обусловлено их способностью принимать активное участие в структурообразовании вяжущих [71]. Целесообразность и эффективность использования минеральных добавок в вяжущее должна оцениваться снижением расхода цемента при обеспечении необходимых основных показателей качества.

Производство композиционных вяжущих веществ с техногенными отходами может осуществляться на цементных заводах или непосредственно на предприятиях стройиндустрии. В последнем случае предполагается переоборудование или приобретение дополнительного оборудования.

Положительный опыт установки специального оборудования для подготовки и использования техногенного сырья при строительстве нового завода ЖБИ имеет место, например, в городах Рязани и Тольятти. Здесь дополнительно установлены дробильное и помольное оборудование, предусмотрены дополнительные бункера для дозирования 6-8 компонентов.

Результатом научных изысканий для получения эффективных вяжущих и бетонов основным оценочным параметром является использование цемента или так называемый удельный расход цемента на единицу прочности [7].

Известна методическая рекомендация по оценке рационального использования активных минеральных добавок в бетон, где установлена эффективность использования добавки \mathcal{E}_d (условный показатель), указывающий на уменьшение содержания цемента в бетоне эталонного бетона [74. 76]:

$$\mathcal{E}_d = (2,5 - 1,5 \times R_1 / R_2) \times 100, \% \quad (3.16)$$

где R_1 - показатель прочности эталонного состава бетона, R_2 - показатель прочность бетона с минеральной добавкой.

Коэффициент эффективности \mathcal{E}_d в определенной степени указывает на их водопотребность и реакционную способность для определения рационального состава проектируемого мною бетона. Для оценки экономической эффективности МД, а также для практического использования технологам рекомендуется коэффициент $K_{\mathcal{E}_d}$, рассчитываемы по формуле 3.17.

$$K_{\mathcal{E}_d} = R_b / \mathcal{C}, \quad (3.17)$$

где R_b – показатель прочности бетона с добавкой золы-уноса;

\mathcal{C} - количество цемента в бетоне.

Действующие методы физико-механических испытаний, не предусматривают специфику поведения минеральных добавок в сочетании с цементом ГОСТ 310.1 76 [60].

На основе такого подхода для оценки влияния зольных отходов на показатели прочности композиционных вяжущих применялся показатель эффективности использования цемента ($K_{\mathcal{E}_f}$).

$$K_{\mathcal{E}_f} = \frac{R_{сж}}{\mathcal{C}_{от}}, \quad (3.18)$$

где $\mathcal{C}_{от}$ – относительный расход чистого цемента.

При расчете $K_{эф}$ взяты прочностные показатели образцов вяжущих, твердевших в условиях ТВО и в 28 суточном возрасте для цементов, содержащих 10-50 % зольных отходов (ЦЗВ_м; ЦЗВ_и; ЦЗШВ_м; ЦЗШВ_и).

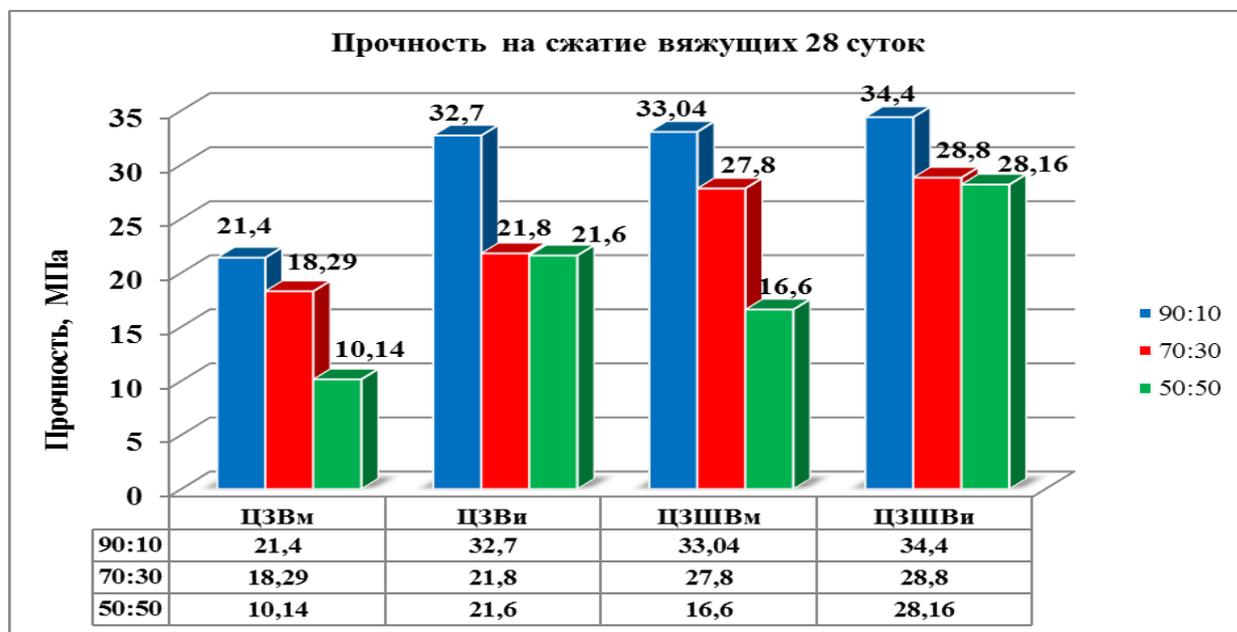


Рисунок 3.23 – $R_{сж}$ – прочность на сжатие в возрасте 28 суток вяжущих: ЦЗВ_м, ЦЗВ_и, ЦЗШВ_м, ЦЗШВ_и

Сравнение результатов прочности образцов в возрасте 28 суток позволило установить, что активация в течении часа вяжущих с содержанием 10 % ЗШС и золы ГУ обеспечивает получение значений равнозначных исходному чистому цементу: с ЗШС $R_{сж} = 34,4$ МПа и с зола ГУ $R_{сж} = 32,7$ МПа.

Для механически смешанных вяжущих идентичные результаты получены на образцах из ЦЗШВ_м, так при 10 % ЗШС $R_{сж} = 33,04$ МПа (Рис. 3.23).

На рисунке 3.24 представлены результаты расчета коэффициента эффективности использования добавок для различных видов вяжущих.

Анализ коэффициента эффективности показал, что наиболее активными являются совместное измельчение цемента с ЗШС с различной концентрацией.

В данном случае коэффициент эффективности использования ЗШС в цемент колеблется в пределах 0,383 - 0,563.

Для цементно-зольных вяжущих показатель эффективности использования золы ГУ в цемент указывает на меньший эффект и $K_{эф}=0,335-0,432$.

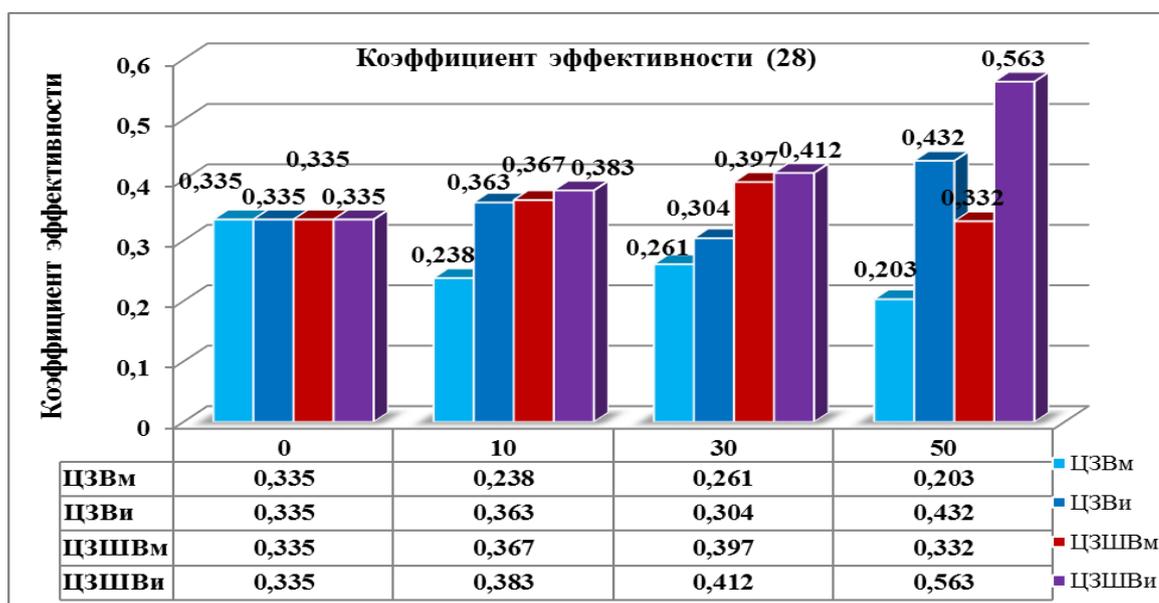


Рисунок 3.24 - $K_{эф}$. - коэффициент эффективности вяжущих 28 суточного твердения: ЦЗВМ, ЦЗВи, ЦЗШВМ, ЦЗШВи

Поскольку процессы гидратации вяжущих с содержанием различных топливных отходов, твердевших 28 суток в нормальных условиях, несколько отличаются от гидратации при ТВО, то рассматривалась также эффективность по прочностным показателям после ТВО.

На рисунке 3.25 показано, что прочность $R^{ТВО}_{сж} = 18,1...21,7$ МПа композиционных вяжущих при 10% содержании топливных отходов практически равнозначна исходному цементу $R^{ТВО}_{сж} = 19,3$ МПа.

Повышение активности композиционных вяжущих, наполненных 30% золой ГУ и ЗШС, способствует получению аналогичных исходному цементу показателей прочности после ТВО.

Для вяжущих с ЗШС 30 % $R_{тво сж} = 19,4...20,0$ МПа, кроме механически смешанного с золой ГУ $R_{тво сж} = 13,6$ МПа.

При 50 % наполнении положительно показали (ЦЗШВ) цементнозолошлаковые вяжущие $R_{тво сж} = 18,4...19,8$ МПа.

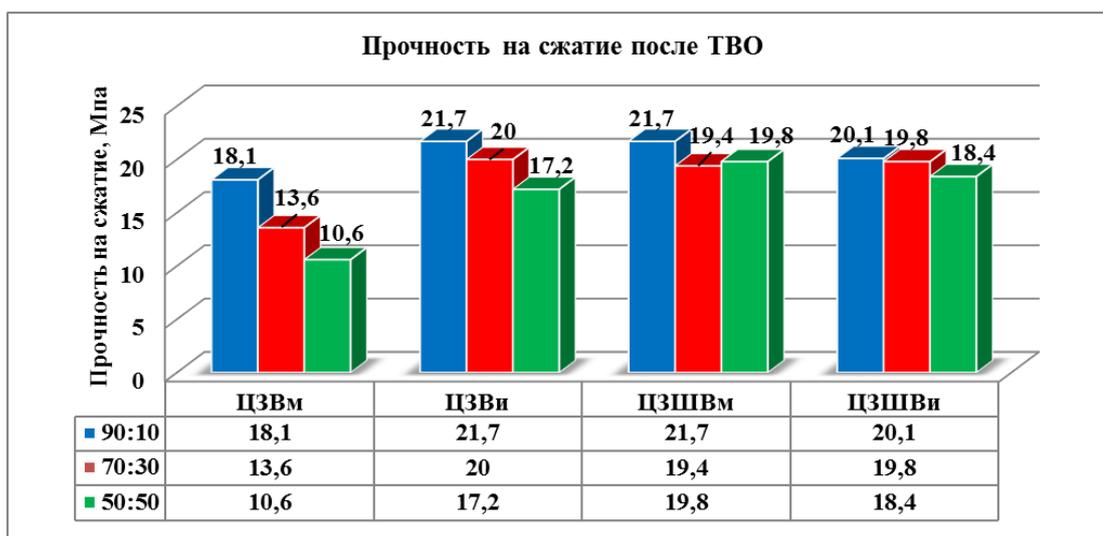


Рисунок 3.25 – Прочность на сжатие видов композиционных вяжущих (ЦЗВ_м, ЦЗВ_и, ЦЗШВ_м, ЦЗШВ_и) после ТВО

На рисунке 3.26 показано, что у ЦЗШВ коэффициент эффективности использования добавки ЗШС $K_{эф} = 3,68$.

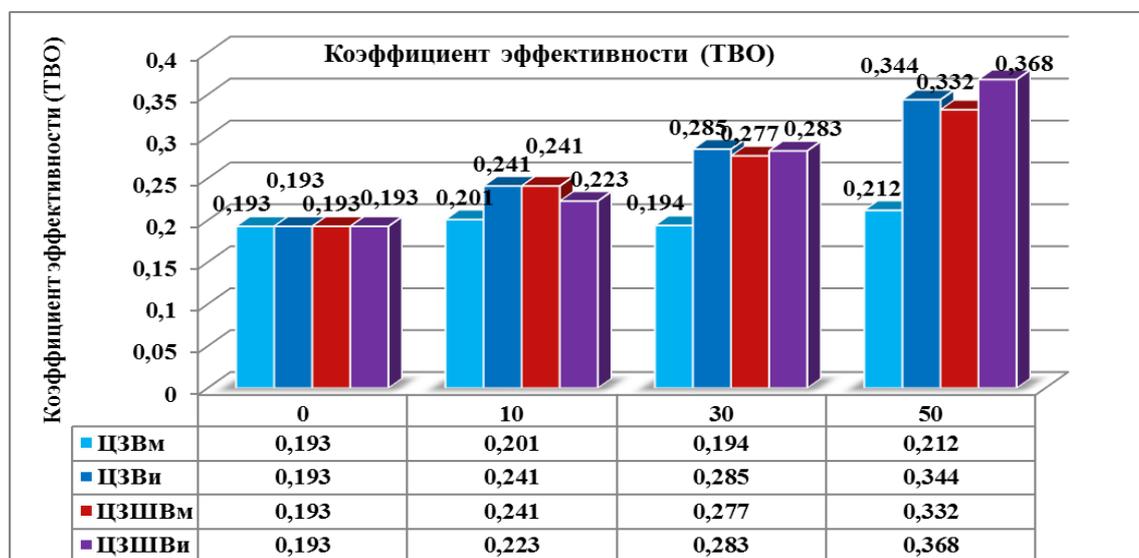


Рисунок 3.26 - $K_{эф}$ - коэффициент эффективности композиционных вяжущих после ТВО: ЦЗВ_м, ЦЗВ_и, ЦЗШВ_м, ЦЗШВ_и

Приведенные данные $K_{эф}$ по прочности образцов в 28 суточном возрасте и после ТВО позволили установить, что ЗШС является наиболее эффективным

наполнителем для композиционных вяжущих, полученных как механическим смешением с цементом, так и активированных совместным помолом.

При использовании золы гидроудаления обязательным условием является ее активация с цементом. Поскольку как было указано выше, зола гидроудаления менее активна, чем золошлаковая смесь, а тонкое измельчение приводит к созданию благоприятной среды для развития физико-химических реакций на границе раздела фаз.

3.4. Исследование свойств заполнителя из топливных отходов

Известно, что в зависимости от характера связи с цементным камнем бетона техногенное сырье разделяется на два типа:

I тип –заполнители, проявляющие химическую активность и в условиях нормального твердения способен связывать $\text{Ca}(\text{OH})_2$ дополнительно образуя гидросиликаты кальция.

Структура бетона представляет собой капиллярно-пористое тело. В случае, когда заполнителем служат активные техногенные отходы, происходит упрочнение, уплотнение и срастание их с цементной матрицей в процессе твердения, что способствует в дальнейшем к снижению количества зазоров и микротрещин в контактной зоне. Такими заполнителями могут быть топливные и доменные шлаки, глиежи, перлиты и т.п.

II тип - активные заполнители, имеющие повышенную пористость на их поверхности, что будет способствовать проникновению в начальный период твердения дисперсных частиц вяжущего на глубину почти десятка микрона.

В данном случае цементная матрица бетона в процессе твердения проникает внутрь пористого техногенного заполнителя, что приводит к увеличению сцепления цементного камня с заполнителем и сокращению проницаемости контактного слоя. Ко второму типу можно отнести керамзит, бетонный лом, известняки и тому подобное.

Наиболее доступным с технологической и экологической точки зрения является I тип заполнителя [83, 171, 230].

Мировой опыт показывает, что многочисленные многотоннажные отходы топливно-энергетической промышленности имеют большой спектр применения в дорожном строительстве, в строительной индустрии, а также для производства видоизмененных строительных материалов, что благоприятно способствует снижению на 15-20 % себестоимости [81, 82, 229].

Получение из топливных шлаков заполнителей для бетонов является одним из направлений строительного материаловедения.

Работы многих исследователей показывают возможность использования ЗШС в качестве мелкого и крупного заполнителей, частично или полностью, для обычных или мелкозернистых бетонов. Причем ЗШС используется непосредственно из золоотвалов или же предварительно подготавливается. Основным параметром качества в любом случае принимается прочность золобетона [7].

Практическая реализация использования золы-унос в условиях ОАО «Иркутскэнерго» позволила получить композиционное золосиликатное вяжущее. Обязательное технологическое требование - гидромеханохимическая активация золы-унос, дисперсностью более $350 \text{ м}^2/\text{кг}$, содержанием свободной CaO – 6,1–13 % и добавка безводной натриевой силикат-глыбы с кремнезем модулем 2,7–2,9. На основе полученного вяжущего произведен безобжиговый зольный гравий плотностью $\rho_{\text{нас}}$ 700–750 $\text{кг}/\text{м}^3$, пористостью 60 % и прочностью 10...15 МПа [76]. На основе полученного зольного гравия произведен высокопрочный легкий бетон с показателями: прочность 25–35 МПа, пористость 60 %, плотностью 1500–1600 $\text{кг}/\text{м}^3$, теплопроводностью 0,33 $\text{Вт}/\text{м}\cdot^\circ\text{C}$, Причем, полученный легкий бетон при равной прочности с керамзитобетоном превосходит его по теплотехническим показателям в 1,5–2 раза [90].

Шлаки, образованные в условиях горения топлива при высоких температурах, представлены довольно прочными кусками плотной

стеклообразной массы. В зависимости от технологии золошлакоудаления гранулометрический состав кусков шлака резко отличается, хотя фазовый, физико-химический составы не изменяются.

Поскольку объемы топливных шлаков весьма значительны, то дальнейшие исследования были направлены на их изучение в качестве заполнителей для МЗБ.

В данных исследованиях использовались 2 вида заполнителей. Первый – заполнители, получаемые рассевом (грохочение) ЗШС и второй - заполнители, которые предварительно подвергались измельчению в щековой дробилке. Структура шлака довольно хрупкая, пористая, с наличием множества пор и сеткой микротрещин, поэтому в процессе дробления происходит развитие магистральных трещин и разрушение крупных кусков на мелкие происходит без заметных пластических деформаций. Последующая стадия дробления вызывает уменьшения размеров частиц, сокращения количества микротрещин, снижения пористости, что соответственно приводит к росту механической прочности зерен шлака.

В таблице 3.12. представлены результаты исследования основных характеристик золошлаковых отходов и дробленого шлака.

Таблица 3.12. – Основные физико-механические характеристики заполнителей из золошлаковой смеси и дробленого шлака

Заполнитель	Показатели									
	$\rho_{нас}$, г/см ³		Прочность при сдавливании в цилиндре, МПа		Стойкость к силикатному у распаду		Стойкость к железистом у распаду		Вп, %	
Фракции	5-10	10-20	5-10	10-20	0-5	5-10	0-5	5-10	0-5	5-10
Шлак	7,46	4,67	1,64	1,02	2,2	5,1	0	0	14,83	9,5
ЗШС	16,4	10,23	0,38	0,31	1,8	4,5	0	0	12,3	9,0

Вп - водопотребность заполнителя крупных фракций 5-10 мм из дробленого шлака и ЗШС практически одинакова 9,5 и 9,0 %. Для фракций 0-5 мм она значительно отличается 4,83 и 12,3 %, т.е. для ЗШС в 2,5 раза.

Для сравнения водопотребность дробленого шлака выше Вп заполнителей из горных пород составляет для песка средней крупности 6-8 %, мелкого песка 12 %. Главной особенностью заполнителей из топливного шлака является повышение пористости при увеличении размера его частиц.

Таблица 3.13. – Показатели свойств дробленного шлака

Фракции, мм	Плотность г/см ³	Ср. плотность в куске, $\rho_{\text{ср}}$, кг/м ³	Плотность после вибрир-и $\rho_{\text{нас}}$, кг/м ³	Межзерн. пуст-ть $V_{\text{пуст}}$, %	Пористость, %	Удельная поверх. S, см ² /г
5-2,5	2,86	2200	940	55	29,5	84
2,5-1,25	2,86	2530	1060	53	24,0	96
1,25-0,63	2,86	2660	1080	51,5	19,5	108
0,63-0,31	2,86	2790	1100	48,5	11,0	120
0,31-0,16	2,86	2850	1120	42,3	5,2	220
0,16	2,86	2920	1180	39	0	920

Причем содержание мелких частиц в природном песке в виде илистых и глинистых более 2-3 % негативно сказывается на свойствах бетонов.

Для заполнителей из шлака мелкие зерна представляют собой химически активные микрозаполнители, наоборот вызывают положительный эффект, сокращающий расход цемента.

На рисунке 3.27 видно, что снижение размеров частиц шлака по мере дробления приводит к росту показателей плотности $\rho_{\text{ср}} = 2200...2920$ кг/м³, и $\rho_{\text{нас}} = 940...1180$ кг/м³.

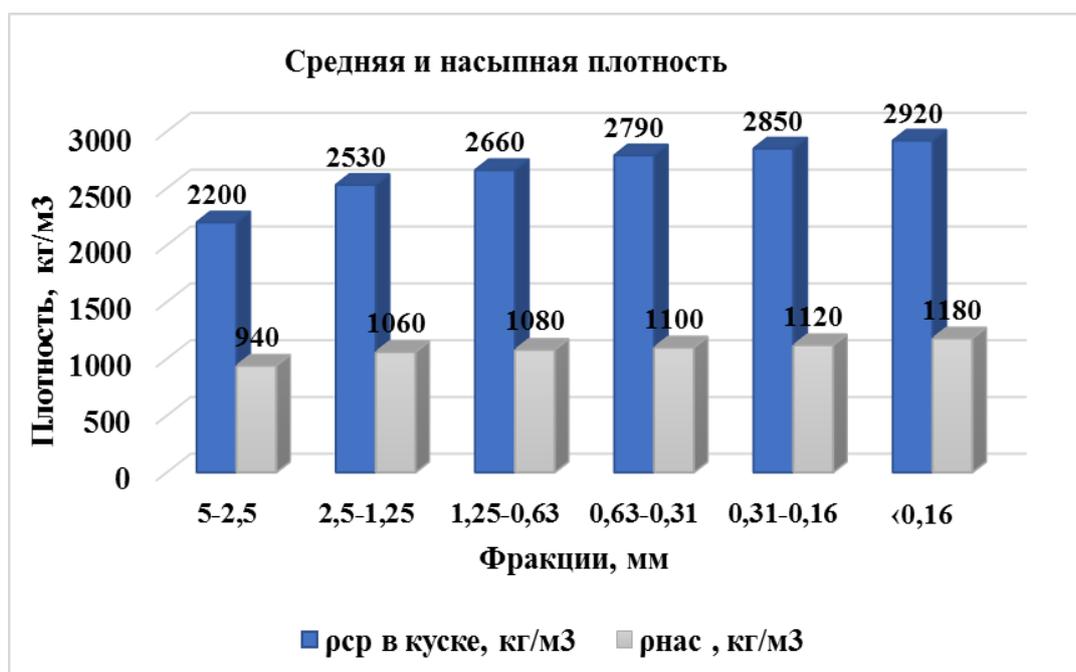


Рисунок 3.27 – Средняя плотность в куске и насыпная плотность после вибрирования заполнителя из шлака

Изменение фракционного состава отражается на изменении пористости и пустотности шлакового заполнителя (3.28). Пористость мелких фракций практически равна нулю, а объем пустот снижается от 55 до 39 % по мере увеличения размера зерен шлака.

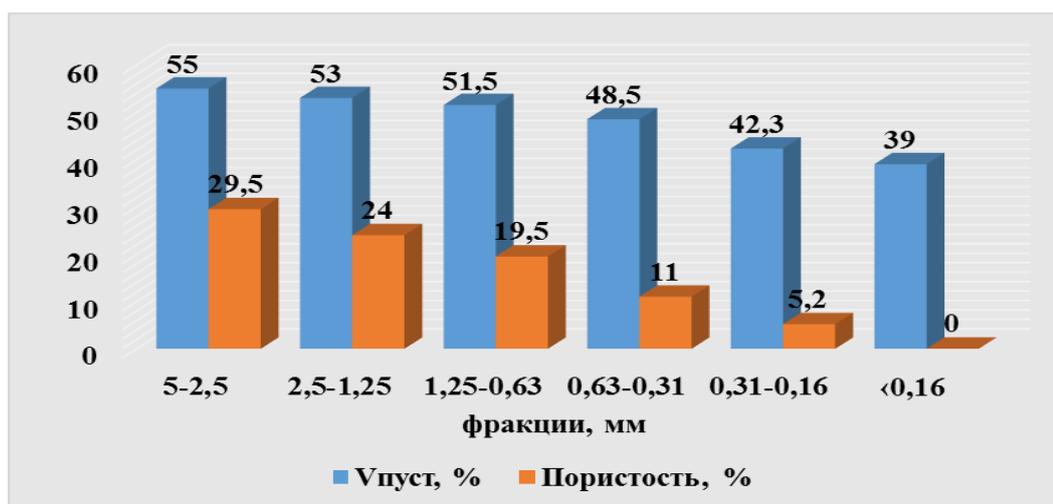


Рисунок 3.28 - Пористость и пустотность заполнителя из шлака

По сравнению с природным песком, где пустотность зависит от его крупности, колеблется в пределах 30...42 %, отличительной особенностью мелкого шлакового песка является то, что объем пустот мелкого песка практически остается неизменным и составляет 53-55 %.

Заключение по главе 3

- Установлено, что по содержанию основных оксидов золошлаковая смесь и зола гидроудаления равнозначны, т.к. являются продуктом обжига идентичного топлива и составляют: SiO_2 – 52,09 и 52,0 %; Al_2O_3 - 20,0 и 21,58 %; $FeO+Fe_2O_3$ - 2,23 и 2,27 %;

- По содержанию кремнезема SiO_2 – 52,09 и 52,0 % (нормативное значение $SiO_2 > 45\%$) и модулю основности M_o - 0,14 и 0,11 ($M_o < 1,0$ кислые) золошлаковые отходы относятся к кислым. Малое содержание CaO - 6,47 и 5,74 % в ЗШО указывает на отсутствие вяжущих свойств. Высокое значение SiO_2 указывает на пуццоланическую активность к CaO , т.е. способности поглощать известь с образованием гидросиликатов Ca ;

- Гранулометрический анализ показал, что ЗШС полидисперсная смесь шлака и золы представлена в виде золошлакового гравия с зернами фракций: 5-20мм - 49,4 %; золошлаковый песок 0,16-5 мм - 40,6 % и зольная пыль с частицами $< 0,16$ мм - 9,9 %. Зола ГУ в основном представлена тонкодисперсными частицами, которые дополнительно диспергировались при гидроудалении и имели состав: фракции 0,16-0,63 мм – 10,3 %; фракции 0,08-мм – 53,1 %; фракции менее 0,05 мм – 55,8 %.

- Анализ качественных характеристик ЗШО показал, что зола ГУ, ЗШС, топливный шлак отвечают требованиям ГОСТ Р 57789-2017 и рекомендуются для применения в виде наполнителей для цемента и заполнителей для бетонов различного назначения;

- Результаты РФА указывают на наличие дифракционных линий кварца (SiO_2) ($d = 4,24; 3,34; 2,44; 1,81; \text{Å}$), муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \times 2 \times \text{SiO}_2$) ($d = 5,39; 3,35; 2,86; 2,52; 2,19 \text{ Å}$) и слабых линий карбонатов (CaCO_3) и ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) ($d = 3,86; 3,02; 2,08 \text{ Å}$), гематита (Fe_2O_3), (Fe_2O_4) ($d=2,69; 2,68 \text{ Å}$);

- Установлено, что зола при измельчении в шаровой мельнице показала легкую размалываемость. Тонкое измельчение золы ГУ в течение 30 минут позволяет достичь удельной поверхности равнозначной цементу $310 \text{ м}^2/\text{кг}$. Дальнейший помол в течение 1 часа увеличивает дисперсность до $360 \text{ м}^2/\text{кг}$, последующее измельчение до 1,5 часа приводит к незначительному увеличению дисперсности до $380 \text{ м}^2/\text{кг}$ и при помолу в течение 3-х часов удельная поверхность ограничивается показателем $390 \text{ м}^2/\text{кг}$;

- Установлено, что цементно-золошлаковое вяжущее при помолу в течении 2-х часов сроки начала схватывания уменьшаются от 3 часов до 2,2 часа. При добавлении 10-30 % ЗШС в КВ конец схватывания снижается от 5,4 часа до 4,6 часа. Время помолу при 50 % ЗШС в ЦЗШВ соответствует 5,4 часа и особого изменения не наблюдается.

- Особенностью золных вяжущих являются их повышенная прочность при изгибе ($R_{\text{изг}}$) по сравнению с цементноминеральными вяжущими и более ярко проявляется после ТВО при добавке до 30 %, остается выше $R_{\text{изг}}$ чистого цементного камня вплоть количества золы до 50 %.

- По результатам анализа ЭСМ установлено, что для обеспечения прочности, равнозначной исходному цементу $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 33,0 \text{ МПа}$, оптимальное содержание золы ГУ должно быть 15-22 % и время измельчения 1,0-1,5 часа. Максимальное наполнение золой ГУ 50 % и помолу 1 час прочность снижается на 12 % и составляет $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 29,0 \text{ МПа}$.

- Установлено, что наиболее эффективно использование золы в вяжущих, твердеющих при тепловлажностной обработке. При наполнении вяжущего золой 10 % с удельной поверхностью $3000 - 5000 \text{ см}^2/\text{г}$ не отмечается спад прочности бетонов, твердеющего в нормальных условиях. А при тепловлажностной обработке отмечается рост прочности вяжущего на 14 % ;

- Выявлено, что с увеличением добавки ЗШО в вяжущих прочность снижается. После активации вяжущего ЦЗШВ помолом в течении 1,5 - 2 часа прочность $R^{28сут}_{сж}$ растет: с 10% ЗШС $R^{28сут}_{сж}$ растет от 31 до 38 МПа, с ЗШС 30% увеличивается от 22 до 33 МПа, с ЗШС 50 % растет от 22 до 32 МПа. Максимальная утилизация ЗШС 50 % в композиционное вяжущее ЦЗШВ с прочностью $R^{28сут}_{сж} = 29-32$ МПа возможна только при условии его активации помолом 1,5 - 2 часа.

- При использовании золы гидроудаления обязательным условием является ее активация с цементом. Зола гидроудаления менее активна, чем золошлаковая смесь, а тонкое измельчение ЗШО способствуют активизации процессов структурообразования при протекании физико-химических реакций;

- Установлено, что наибольший коэффициент эффективности $K_{эф}$ обеспечивается для вяжущих при совместным измельчением цемента и ЗШО. По мере увеличения добавки ЗШС наблюдается увеличение показателя $K_{эф}$ от 0,383 до 0,563, а вяжущее с золой ГУ показало изменения $K_{эф}$ от 0,335 до 0,432.

- Установлено, что водопотребность ($V_{п}$) крупных фракций 5-10 мм заполнителя из дробленого шлака и ЗШС практически одинакова 9,5 и 9,0 %. Для мелких фракций 0-5 мм $V_{п}$ для ЗШС в 2,5 раза выше и составляет 4,83 и 12,3 %. Повышенная прочность контактной зоны между цементной матрицей и заполнителем из топливного шлака объясняется его химической активностью.

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ И ЗАПОЛНИТЕЛЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОПЛИВНЫХ ОТХОДОВ

Бетон образует собой сложную неоднородную структуру, которая представлена зернами мелкого заполнителя - мезоструктурой и резко отличающихся по размерам субмикрочастицами продуктов гидратации вяжущего.

Микроструктура МЗБ это структура цементного камня с наполнителем из топливных отходов, которая состоит из целого ряда составляющих. Это продукты гидратации вяжущего в виде гелевидных оболочек новообразований, не прореагировавшие с водой ядра цемента, частицы наполнителя из ЗШО и поры.

Мезоструктура МЗБ представлена двумя составляющими мелким заполнителем и матрицей золоцементного камня. Причем на молекулярном уровне прочность МЗБ высока, но в связи с наличием различных неоднородностей в виде капиллярных и гелевых пор, трещин, микродефектов и концентраций напряжения при этом оказывается значительно меньшей.

Совершенство структуры МЗБ зависит несомненно от физико-механических характеристик композиционного вяжущего, степени сцепления его с заполнителем, наличия трещин в цементном камне и заполнителях. Особое значение на показатели прочности бетона оказывает контактная зона между цементной матрицей и бетоном. Кроме того степень сцепления цементной матрицы и заполнителя из топливного отхода напрямую зависит от влажности, дисперсности, содержания несгоревших угольных частиц и тому подобное. Контактная зона между заполнителем и золоцементным камнем является очагом концентраций напряжений при приложении внешней нагрузки.

В связи с вышеизложенным необходимо особое внимание уделять разработке оптимальной структуры мелкозернистого бетона, компоненты которого содержат в основном топливные отходы. Основным сдерживающим фактором широкого использования МЗБ в строительстве является повышенный расход вяжущего, а при «разбавлении» цемента зольными отходами позволит несомненно снизить его расход.

Согласно рекомендациям [86], использование в цементных вяжущих золошлаковых отходов позволяет получить различные виды бетонов марок М50 -М500 с морозостойкостью F50 - F300 и водонепроницаемостью В2 - В 12:

а) тяжелый или легкий бетон, где часть цемента или заполнителя представлена золой;

б) бетон мелкозернистый, где часть природного мелкого песка заменена ЗШС, плотностью 1800—2200 кг/м³;

в) тяжелый бетон, где в сочетании с природными заполнителем может быть использован плотный шлак или золошлаковая смесь.

Существует 2 различных варианта введения активных минеральных добавок в бетоны. Первый способ - это введение их взамен части цемента для снижения его расхода и второй - взамен части мелкого заполнителя для увеличения содержания дисперсных частиц, повышающих плотность бетона.

Известен комбинированный вариант, где минеральная добавка частично заменяет вяжущее вещество и частично мелкий заполнитель. В любом варианте введения добавки золы проявляется ее пуццолановая активность [81, 82].

Немаловажное значение на показатели прочности МЗБ оказывают характеристики мелкого заполнителя, такие как межзерновая пустотность, содержание пылевидных и глинистых частиц, гранулометрический состав и т.п. А использование в бетоне крупнозернистого песка вызывает повышенный расход вяжущего вследствие его большой межзерновой пустотности.

Поэтому для получения высокопрочных мелкозернистых бетонов рекомендуется подбор фракционного состава используемых мелких заполнителей.

С точки зрения экономии расхода цемента и получения бетонов высокой прочности Эли, Ферэ, Веймут [33] предлагают использование заполнителей с прерывистой гранулометрией в которых отсутствуют частицы среднего размера. Б.Т. Скрамтаев и др. также рекомендуют использовать смеси с непрерывной гранулометрией, которые менее склонны к расслоению [90, 164]. При соотношении мелких и крупных фракций от 1:2 до 1:4, т.е. прерывистой гранулометрией заполнителей достигается наиболее плотная упаковка частиц с определенным числом контактов.

Соотношение между мелкими зернами 0 – 0,5 мм и крупными 2 – 5 мм обеспечивает наибольшую плотность и высокую прочность $R_{сж}$ пластичного раствора, вследствие наличия в нем минимального объема воздушных пустот и водоемких пор.

Для обеспечения наилучших деформативных и прочностных характеристик бетона рекомендуется наличие в заполнителе 8-15 % зерен с максимальным размером 10 мм и зерен 5-10 мм порядка.

Известна закономерность для МЗБ, что при изменении отношения Ц:Ш от 1:3 до 1:2 количество зерен должно расти менее 0,16 раза. В данном случае микрозаполнители из шлака способствуют совершенствованию структуры бетона и повышению его прочностных свойств. Кроме того при оптимальном соотношении Ц : Ш, когда мелкие частицы шлака составляют примерно 35 % зернового состава приближается к оптимальному.

При отношении в бетоне вяжущее и заполнитель 1:2, повышенная прочность обеспечивается при наличии в шлаке частиц размером $< 0,16$ мм в количестве 10-15 %, а при соотношении 1:6 их содержание уже увеличивается до 20-30 %.

Таким образом, при разработке составов МЗБ необходимой прочности с учетом гранулометрического состава шлакового заполнителя предпочтительнее соотношения 1:2-1:4. Оптимальный гранулометрический состав шлака обеспечивает получение при определенном отношении Ц:Ш бетона минимальной водопотребности, высокой прочности и долговечности.

Высокая прочность МЗБ обеспечивается также стабильным минимальным значениям усадки, что характерно для соотношений 1:2 - 1:3.

Несомненно, значительное влияние на прочностные показатели МЗБ оказывает цементное вяжущее. Но обеспечение плотной упаковки заполнителя из шлака с частицами разных размеров и форм, соединенных тонкой прослойкой композиционного вяжущего положительно скажется на структуре МЗБ.

В таблице 4.1. указан предварительный анализ свойств МЗБ проводился на составах при различных соотношениях композиционного вяжущего и заполнителях разных фракций.

Таблица 4.1. – Отношение композиционное вяжущее (ЦЗВ_и, ЦЗШВ_и) и шлаковый заполнитель

№ состава	Соотношение	Компоненты МЗБ
1	1:2:1	ЦЗШВ _и : Ш (фракций 5-10мм) : П
2	1:2	ЦЗШВ _и : Ш (фракций 5-10мм)
3	1:3	ЦЗШВ _и : Ш (фракций 5-10мм)
4	1:3	ЦЗШВ _и : Ш (фракций 0-5мм)
5	1:3:1	ЦЗШВ _и : Ш (фракций 5-10мм) :Ш(фракций 0-5мм)
6	1:2	ЦЗШВ _и : Ш (фракций смесь фр.0-5 и 5-10 мм)
7	1:3	ЦЗШВ _и : Ш (смесь фр.0-5 и 5-10 мм)

4.1. Мелкозернистые бетоны на основе композиционного вяжущего вещества с золой гидроудаления и шлаковом заполнителе

В исследованиях при подборе состава мелкозернистого бетона (МЗБ) использовалась зола гидроудаления (ГУ), которая перемешивается с водой при влажности 40-50 % и пневмонасосом транспортируется в золоотвалы.

Различные приемы введения золы ГУ к цементу показали, что наиболее эффективным является использование их в измельченном виде. Активизация позволяет значительно увеличить гидравлическую активность и стабилизировать физико-химические характеристики. Разработанные ранее малоклинкерные вяжущие с содержанием золы ГУ 10-50 % рекомендованы для использования в мелкозернистых бетонах [2].

Анализ химического состава золы ГУ и ЗШС показывает, что в них практически отсутствует свободная известь, потери при прокаливании составляют (12,13...15,30); содержание глинозема (Al_2O_3) - 20,0... 21,58 %.

Целью исследования является разработка составов мелкозернистого облегченного бетона с использованием отходов БТЭЦ.

Эффективность и целесообразность активации композиционного вяжущего помолом с зольными отходами разной концентрации 10, 30, 50 % показана в главе 3.3.1.

В связи с чем дальнейшие исследования основных свойств МЗБ осуществлялись на активированных композиционных вяжущих.

В исследованиях мелкими заполнителями являлись природный песок (Васильевского месторождения) и топливный шлак, что позволило в дальнейшем сравнить основные свойства МЗБ.

Перед использованием шлак подвергали дроблению и классифицировали по фракциям 5-10 мм и 0-5 мм. В качестве вяжущего применяли

предварительно подготовленные помолом 1 час цементозольные вяжущие ЦЗВ_и различной степени наполнения золой гидроудаления.

Состав (1) МЗБ (таблица 4.2) для сравнения отличается от остальных наличием в качестве мелкозаполнителя природного песка. В данной смеси водовяжущее отношение В/В колеблется в пределах 0,6-0,65 при изменении содержания золы ГУ. Подвижность смеси одинакова (5 см) для ЦЗВ_и с золой ГУ 10 и 30 %, а при наполнении 50 % подвижность достигает 6,5 см. С увеличением золы до 50 % (ρ) плотность образцов снижается от 2000 до 1970 кг/м³.

В составе (2) с отношением ЦЗВ_и:Ш = 1:2 шлаковый заполнитель представлен грубой фракцией 5-10 мм, где подвижность смесей составила 5,5 – 6 см и водовяжущее отношение находится в пределах 0,6 - 0,7 %. Плотность МЗБ колеблется в пределах 1860-1900 кг/м³.

Таблица 4.2.- Основные физико-механические свойства МЗБ на основе ЦЗВ_и и шлакового заполнителя

№составов	Отношение вяжущее заполнитель	Подвижность смеси, см			В/В- водовяжущее отношение			(ρ) - плотность образца бетона кг/м ³			Прочность при сжатии, МПа					
		% золы			% золы			% золы			Прочность после ТВО			Прочность после 28 суток		
		10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
		1	ЦЗВ _и : Ш (5-10мм):П 1:2:1	5	5	6,5	0,65	0,6	0,6	2000	1990	<u>1970</u>	16,2	15,82	11,92	20,8	17,7	15,7
2	ЦЗВ _и : Ш (5-10мм) 1:2	6	5,5	6	0,7	0,6	0,65	1920	1900	1860	14,75	13,2	11,3	21,2	16,8	16,2
3	ЦЗВ _и : Ш (5-10мм) 1:3	6	6	6	0,71	0,87	0,93	1850	1780	1760	7,4	7,1	5,82	10,41	10,6	10,2
4	ЦЗВ _и : Ш (0-5мм) 1:3	5	4,5	5,5	1,07	0,8	0,83	1810	1800	1710	8,56	6,12	3,2	11,8	11,2	7,3
5	ЦЗВ : Ш (5-10мм): Ш (0-5мм) 1:3:1	5	5	5,5	1,0	0,93	1,0	1720	1700	1600	6,41	6,31	3,91	8,9	5,1	4,7
6	ЦЗВ _и : Ш (0-5 и 5-10 мм) 1:2	4,5	4,6	4	0,61	0,6	0,59	1860	1840	1800	24,3	12,8	10,3	26,5	23,4	18,6 4
7	ЦЗВ _и : Ш (0-5 и 5-10 мм) 1:3	6	4	4	0,7	0,65	0,78	1820	1800	1780	20,1	9,3	7,4	21,6	14,4	10,2

Отличие состава МЗБ (3) от состава (2) заключается в повышенном количестве шлакового заполнителя ЦЗВ_и:Ш = 1:3 той же фракции 5-10 мм. Плотность при этом составила 1760...1850 кг/м³, подвижность 6 см, а В/В повышается 0,71; 0,87 и 0,93 с увеличением количества наполнителя.

Состав (4) при том же соотношении ЦЗВ_и:Ш = 1:3 отличается от состава (3) фракцией заполнителя 0-5 мм. Здесь В/В несколько выше 0,8-1,07, что обусловлено повышенным содержанием мелких фракций и подвижность смесей находится в пределах 4,5-5,5 см. С наполнением вяжущего золой плотность изменяется от 1810 до 1710 кг/м³.

В МЗБ (5) заполнитель представлен фракциями крупного 5-10 мм и мелкого шлака 0-5 мм, что в данном случае не отражается на подвижности 5-5,5 см. Водовязущее отношение В/В имеет показатели 0,93...1,0%, а плотность изменяется от 1720 до 1600 кг/м³.

МЗБ составов (6) и (7) при одинаковом фракционном составе топливного шлака отличаются только соотношением ЦЗВ_и:Ш - 1:2 и 1:3.

Для смеси (6) ее подвижность составляет 4 – 4,6 см, водовязущее отношение колеблется в пределах 0,59 – 0,61. У состава (7) с повышением добавки золы В/В немного повышено 0,65 – 0,78, подвижность колеблется 4 ... 6 см, а % и плотность от 1820 до 1780 кг/м³.

Результаты прочностных характеристик образцов МЗБ после ТВО и 28-ми суточного твердения в нормальных условиях указаны в таблицах (4.3. и 4.4.) и представлены на рисунках (4.1 и 4.2).

Таблица 4.3. - Прочность после ТВО МЗБ на ЦЗВ_и и ШЗ

Количество наполнителя зола ГУ	№ состава						
	1	2	3	4	5	6	7
10	16,2	14,75	7,4	8,56	6,31	24,3	20,2
30	15,82	13,2	7,1	6,12	5,11	12,8	9,3
50	11,92	11,3	5,82	3,2	3,91	10,3	7,4

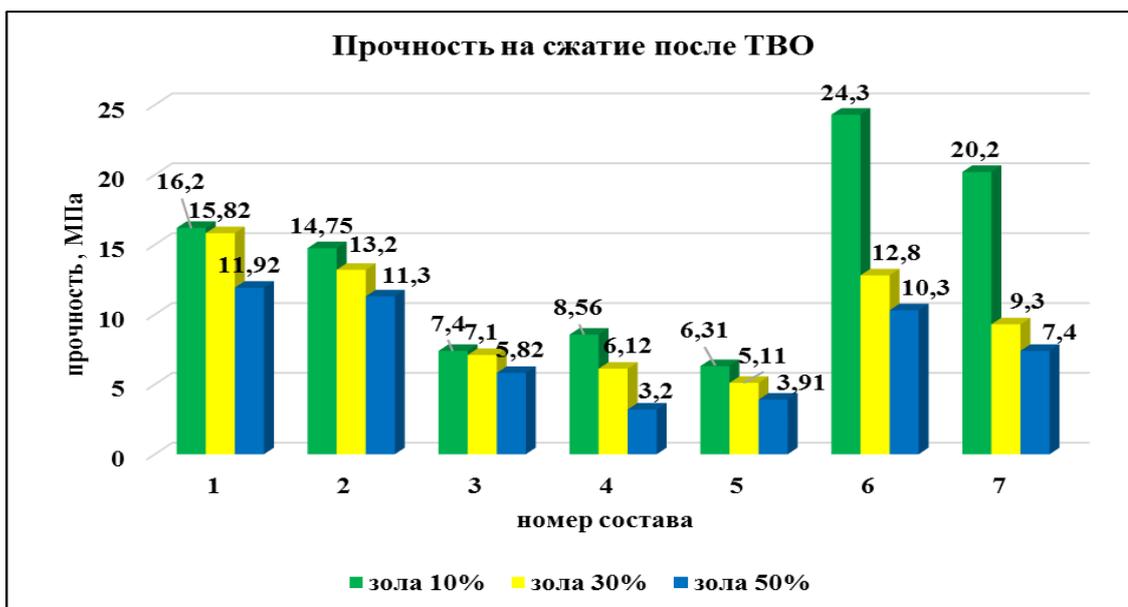


Рисунок 4.1 - Показатели прочности после ТВО МЗБ на ЦЗВ_и и заполнителя из шлака

Для всех семи составов после ТВО и после 28 суточного твердения в нормальных условиях прочность образцов МЗБ при 10% золы ГУ в вяжущем имеет наибольшие значения.

В составе (1) прослеживается спад прочности по мере наполнения, прочность после ТВО $R_{сж}^{ТВО}$ от 16,2 до 11,92 МПа, т.е. падает на 35%. В составе (2) тенденция сброса прочности из-за наполнения вяжущего золой сохраняется. Так после ТВО $R_{сж}^{ТВО}$ наблюдается спад прочность на 30% от 14,75 до 11,3 МПа. Из рис.4.1 состав (3) можно констатировать, что прочность бетона практически не снижается при содержании золы ГУ в вяжущем до 30%, а дальнейшее увеличение золы до 50% снижает прочность до 5,82 МПа.

В составе (4) наблюдается резкое снижение прочности по мере наполнения цемента золой ГУ с 8,56 до 3,2 МПа.

Аналогичная тенденция спада прочности наблюдается у состава (5), почти в 2 раза $R_{сж}^{ТВО}$ от 6,41 до 3,91 МПа.

Наиболее удачное соотношение компонентов в бетоне наблюдается в составе (6), где при содержании золы 10% достигается максимальная прочность

24,3МПа. Однако, при количестве 30 и 50% она резко снижается в 2 раза и составляет 12,8 и 10,3 МПа.

Для состава (7) также отмечается спад прочности почти в 3 раза от 20,1 до 7,4 МПа по мере наполнения цемента до 50 % с золой ГУ.

Таблица 4.4. - Прочность после 28 суток твердения МЗБ на ЦЗВ_и и шлака

зола ГУ - Наполнитель, (%)	Номера составов						
	1	2	3	4	5	6	7
10	20,8	21,2	10,41	11,8	6,41	26,5	21,6
30	17,7	16,8	10,6	11,21	4,7	23,4	14,4
50	15,7	16,2	10,2	7,3	3,0	18,64	10,2

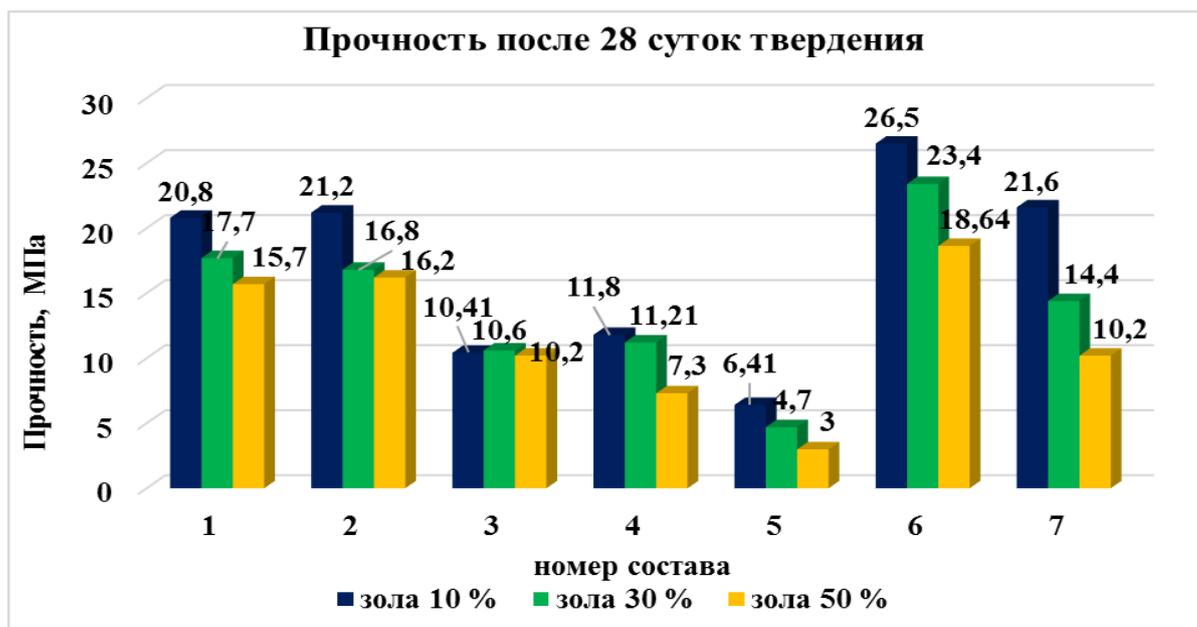


Рисунок 4.2 - Показатели прочности после 28 суток МЗБ на вяжущем ЦЗВ_и и шлаковом заполнителе

На рисунке 4.2 видны образцы состава МЗБ (1), достигают прочности $R_{сж}^{28} = 20,8$ в течение 28 суток твердения. С увеличением концентрации золы в вяжущем прочность снижается (17,7 и 15,5 МПа). Для образцов состав (2) показатель $R_{сж}^{28}$ снижается на 30 % и составляет 21,2 и 16,2 МПа. Образцы

состава (3) показали низкую прочность $R_{сж}^{28} = 10,41; 10,6$ и $10,2$ МПа. В МЗБ прочность состава (4) установлена $R_{сж}^{28} = 11,8; 11,21$ и $7,3$ МПа. Самые низкие показатели прочности $R_{сж}^{28} = 8,9; 5,1$ и $4,7$ МПа установлены в составе (5). Наибольший прочностной эффект $R_{сж}^{28} = 26,5; 23,3$ и $18,64$ МПа установлен в образцах состава (6). Неплохие показатели прочности имеет МЗБ состава (7), где прочность образцов $R_{сж}^{28} = 21,6; 14,4$ и $10,2$ МПа.

Равнозначную прочность имеют МЗБ составов (1), (2) и (7), где после 28 суток твердения бетона на вяжущем (зола 10 %) при соотношении ЦЗВи : Ш (0-5мм) = 1:2, обеспечивается равнозначная прочность $R_{сж}^{28} = 20,8; 21,2$ и $21,6$ МПа.

Наибольшие показатели прочности после ТВО и 28 суток твердения отмечены для бетона состава (6). При содержании в вяжущем золы 10% прочность после ТВО $R_{сж}^{ТВО} = 24,3$ МПа и после 28 суток показатель $R_{сж}^{28} = 26,5$ МПа (рисунок 4.1 и 4.2). МЗБ, полученный при соотношении 1:2 - ЦЗВи (зола 50 %) и шлаковый заполнитель имел показатель прочности после 28 суток твердения $R_{сж}^{ТВО} = 18,64$ МПа.

Таким образом показана возможность получения МЗБ классов В 7,5 – 15 (М100-200) на основе композиционного вяжущего при наполнении его золой гидроудаления 10 – 50 % и предварительно подготовленных заполнителей из топливного шлака.

В составах (1, 2, 6, 7) обеспечивается прочность МЗБ более 20МПа при 10 % содержании золы ГУ. Наибольшие показатели прочности больше 25 МПа достигают образцы из состава (6) на вяжущем, содержащем 10 % золы и топливном шлаке фракций 5-10 и 0-5.

4.2. Основные свойства мелкозернистого бетона на вяжущих с золошлаковой смесью и шлаковым заполнителе

В главе 3.3. была показана эффективность активации композиционного вяжущего с ЗШС с 10, 30, 50 %.

Аналогичные исследования основных свойств мелкозернистого бетона проводились на другом вяжущем ЦЗШВ_и, представляющего собой продукт совместного помола цемента и золошлаковой смеси различной концентрации, а заполнителем являлся природный песок и шлак. Изучение основных характеристик МЗБ на основе композиционных вяжущих ЦЗШВ_и проводилось при различных соотношениях фракций мелкого шлакового заполнителя и природного песка (таблица 4.1).

Проанализированы результаты испытаний образцов МЗБ на вяжущем ЦЗШВ_и различной концентрации ЗШС 10, 30, 50 % и разным соотношении к мелким заполнителям (таблица 4.5.).

В МЗБ состава (1), где часть топливного шлака заменена природным песком, наблюдается изменение подвижности смеси и В/В от наличия ЗШС 10, 30, 50 % в вяжущем. ЦЗШВ_и с добавкой 10 % ЗШС водовяжущее отношение $V/V = 0,65$, а подвижность составила 6 см. С 50 % ЗШС в вяжущем подвижность составила 4,5 см и $V/V = 0,77$. Плотность образцов МЗБ составила 1900, 1740 и 1970 кг/м³.

В МЗБ состава (2), где заполнителем являются грубые фракции шлака 5-10 мм, при соотношении 1:2, при $V/V = 0,7; 0,68$ и $0,81$ подвижность составила 7; 3,5 и 4 см и плотность $\rho = 1800; 1690$ и 1900 кг/м³.

Сравнивая составы (3) и (2) МЗБ отмечается, что с увеличением количества ЗШС в обоих случаях наблюдается снижение плотности образцов. При составе плотность от 1900 кг/м³ до 1690 кг/м³ (ρ), при соотношении вяжущие: заполнитель 1:2. Для (3) состава ЦЗШВ_и : Ш = 1:3 плотность аналогично снижается от 1760 до 1400 кг/м³.

В случае (состав 4), когда заполнитель из шлака представлен фракцией (0-5 мм), плотность также снижается 1800 до 1600 кг/м³.

В составе (5) использовался заполнитель фракций (5-10 мм) - трех части и одной части мелкого (0-5 мм) шлака, при этом плотность МЗБ составила 1600 кг/м³, подвижность смеси 5; 3; 3,8 см, при высоких В/Ц = 1,0; 1,2 и 1,0.

В составах (6) и (7) заполнитель из шлака предварительно измельчался и просеивался через сито 10 мм (0-5 и 5-10 мм), которые отличаются соотношением ЦЗШВ_и:Ш (смесь фр.0-5 и 5-10 мм) - 1:2 (состав 6) и соотношением ЦЗШВ_и:Ш (смесь фр.0-5 и 5-10 мм) - 1:3 (состав 7).

По мере увеличения концентрации ЗШС от 10 до 50 % подвижных смесей изменяется от 4 до 2, а показатели В/Ц остается практически неизменным, плотность составляет 1770 – 1800 кг/м³.

Таблица 4.5 - Физико-механические свойства МЗБ на вяжущем с ЗШС (10;30;50 % (ЦЗШВ_и))

№	Компоненты	Подвижность смеси, см			В/В			Плотность образца (ρ) кг/м ³			Прочность при сжатии, МПа					
		% -е кол золы			% -е кол-в золы			% -е кол-во золы			после ТВО			твердение 28 сут.		
		10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
1	ЦЗШВ _и :Ш(5-10мм): Песок 1:2:1	6	3	4,5	0,65	0,65	0,77	1970	1900	1740	17,12	13,08	8,31	22,5	20,28	10,31
2	ЦЗШВ _и : Ш(5-10мм) 1:2	7	3,5	4	0,7	0,68	0,81	1900	1800	1690	12,55	11,41	10,64	18,64	18,43	11,8
3	ЦЗШВ _и : Ш (5-10мм) 1:3	5,5	3	3	1,0	1,0	1,15	1760	1500	1400	5,61	5,12	3,65	8,75	8,71	7,6
4	ЦЗШВ _и : Ш (0-5мм) 1:3	7	3	3,5	0,8	0,8	0,85	1800	1700	1600	5,7	5,34	4,41	8,81	8,3	7,35
5	ЦЗШВ _и :Ш (5-10мм): Ш(0-5мм) 1:3:1	5,5	3	3,8	1,0	1,2	1,0	1640	1620	1600	4,82	4,02	3,19	8,21	7,84	4,71
6	ЦЗШВ _и : Ш (0-5 и 5- 10 мм) 1:2	4	4	3	0,62	0,61	0,6	1850	1820	1800	19,69	13,3	10,49	20,91	16,1	12,49
7	ЦЗШВ _и : Ш (0-5 и 5- 10 мм) 1:3	4	3	2	0,8	0,8	0,78	1800	1780	1760	13,71	10,18	7,82	14,42	12,0	8,91

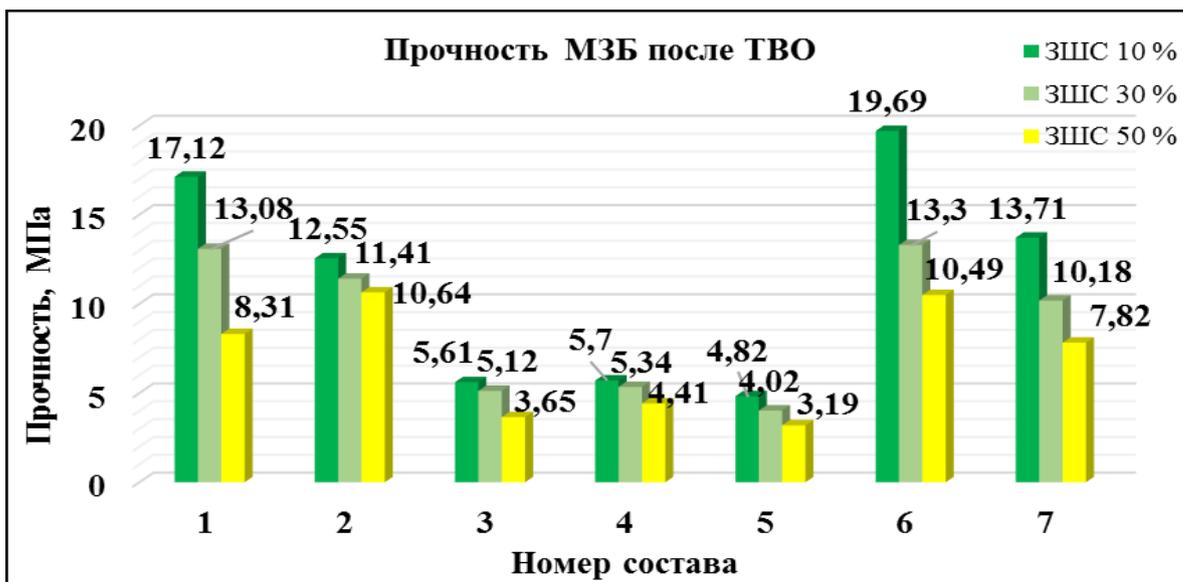


Рисунок 4.3 - Прочность после ТВО МЗБ на вяжущем ЦЗШВ_и

На рисунке 4.3 и 4.4 видно, что в составе (1) спад прочности наблюдается с увеличением количества добавки ЗШС 50 %, здесь максимум прочности после ТВО $R_{сж}^{ТВО} = 17,12$ МПа и после 28 суток $R_{сж}^{28} = 22,5$ МПа соответствует количеству ЗШС 10 %.



Рисунок 4.4 - Показатель прочности МЗБ на ЦЗШВ_и после 28 суток твердения

При количестве ЗШС 30 % показатели прочности составили $R_{твосж} = 13,08$ и $R_{28сж} = 20,28$ МПа и $R_{твосж} = 8,31$ МПа; $R_{28сж} = 10,31$ МПа для МЗБ на вяжущих 50 % ЗШС. Можно отметить, что увеличение добавки ЗШС до

50 % для МЗБ сказывается падением прочности после ТВО $R_{твосж}$ на 51,6 % и $R_{28сж}$ на 46 %.

Для МЗБ (состав 2) прочностные показатели снижаются с увеличением ЗШС 10-50 %: после ТВО $R_{твосж}$ от 12,55 до 10,64 МПа, т.е. на 15,2 % и после твердения 28 суток $R_{сж}^{28}$ от 18,64 до 11,8 на 36,7 %.

Составы МЗБ 3, 4 и 5 (рисунок 4.4) показали самые низкие показатели прочности даже при минимальном количестве ЗШС 10 %. Так при твердении в условиях ТВО $R_{твосж}$ составила 5,61; 5,7 и 4,82 МПа. После 28 суток твердения $R_{сж}^{28} = 8,75; 8,81$ и 8,21 МПа соответственно.

На рисунке 4.2.2 и 4.2.2 видно, что наилучшие результаты по физико-механическим свойствам МЗБ принадлежат составам (1) и (6), причем следует отметить, что в условиях ТВО прочность достигает 90 % прочности.

МЗБ состава (6) имеет наиболее оптимальный гранулометрический состав шлакового заполнителя фракций 0-5 и 5-10 мм, где даже при количестве ЗШС 50% в вяжущем обеспечивается прочность $R_{твосж} = 10,49$ и $R_{сж}^{28} = 12,49$ МПа.

Исходя из выше изложенного следует, что высокие показатели прочности наблюдается у составов (1) и (6), отличающиеся различием в составе и количестве мелкого заполнителя.

По результатам показателей прочностей и степени утилизации золошлаковой смеси и шлака в мелкозернистые бетоны наиболее эффективным проектируемым составом выбираем состав (6).

4.3. Оптимизация состава мелкозернистого бетона на вяжущем с золой гидроудаления и шлаковым заполнителем

Прагматизация составов МЗБ проводилась при реализации эксперимента по двухфакторному плану, где качеству варьируемых факторов служили: X_1 –

зола ГУ в ЦЗВ_и – 10; 20 и 30, %; X₂ – соотношение между ЦЗВ_и и мелким заполнителем из шлака (0-5-10), мм .

Параметрами оптимизации служили: плотность МЗБ – ρ (Y₂). кг/м³; прочность после ТВО – R^{ТВО}_{сж} (Y₃), МПа; прочность – R^{28сут}_{сж} (Y₄), МПа.

В таблицах 4.6 и 4.7 отражены уровни варьирования факторов и результаты экспериментальных исследований.

Таблица 4.6. - Уровни варьирования факторов

Уровни факторов	Количество Золы гидроудаления в ЦЗВ _и , %	Соотношение ЦЗВ _и : Шлак
-1	10	1:2 (5-10 мм)
0	30	1:2 (0-5-10 мм)
+1	50	1:3 (0-5-10 мм)

Таблица 4.7. – План и результаты двухфакторного эксперимента

Номер опы та	Кодир-е перем-е		Натуральные величины		Y ₁ В/Ц	Y ₂ Плотн. (ρ), кг/см ³	Y ₃ R ^{ТВО} _{сж} МПа	Y ₄ R ²⁸ _{сж} МПа
	x ₁	x ₂	X ₁ - зола ГУ, %	X ₂ - Соотношение Вяжущее: заполнитель				
1	-1	-1	10	1 : 2(5-10 мм)	0,7	1920	14,75	21,2
2	1	-1	50	1 : 2(5-10 мм)	0,65	1860	11,3	16,2
3	-1	1	10	1 : 3(0-5-10 мм)	0,7	1820	20,1	21,6
4	1	1	50	1 : 3(0-5-10 мм)	0,78	1780	7,4	10,2
5	1	0	50	1 : 2(0-5-10 мм)	0,59	1800	10,3	18,64
6	-1	0	10	1 : 2(0-5-10 мм)	0,61	1860	24,3	26,5
7	0	1	30	1 : 3(0-5-10 мм)	0,65	1800	9,3	14,4
8	0	-1	30	1 : 2(5-10 мм)	0,6	1900	13,2	16,8
9	0	0	30	1 : 2 (0-5-10 мм)	0,6	1840	12,8	23,4

По результатам экспериментальных исследований получены ЭС-модели (3.1-3.3) плотности и прочности МЗБ, которые графически представлены на рисунках 4.5 и 4.6.

$$Y_2(\rho) = 1838 - 26,7 x_1 - 6,7 x_1^2 - 46,7 x_2 + 13,3 x_2^2 + 5,0 x_1 x_2 \quad (4.3.1)$$

$$Y_3(R^{TBO}_{сж}) = 13,85 - 5,02 x_1 + 2,93 x_1^2 - 0,41 x_2 - 3,13 x_2^2 - 2,31 x_1 x_2 \quad (4.3.2)$$

$$Y_4(R^{28}_{сж}) = 22,28 - 4,04 x_1 + 0,86 x_1^2 - 1,33 x_2 - 6,11 x_2^2 - 1,6 x_1 x_2 \quad (4.3.3)$$

По рассчитанным коэффициентам моделей можно сделать анализ о вкладе каждого фактора на свойства МЗБ.

Плотность и прочностные свойства МЗБ как видно из (4.5), снижаются при верхних уровнях $x_1, x_2 = 1$ (т.е. количество наполнителя из золы ГУ в ЦЗВ_н и соотношение ЦЗВ_н : Шлак). Линейные коэффициенты при x_1 и x_2 составляют ($b_1 = -26,7$ и $b_2 = -46,7$). Причем числовое значение второго фактора больше, т.е. соотношение вяжущее и наполнитель играет определяющую роль в структуре МЗБ. На показатель прочности МЗБ после ТВО наибольшее влияние оказывает первый фактор x_1 , т.е. количество наполнителя в вяжущем. Такая же картина влияния факторов наблюдается и в модели прочности $R^{28}_{сж}$ (4.6).

Изменение плотности МЗБ при варьировании двух переменных x_1 и x_2 можно увидеть на рисунке 4.5. При соотношении вяжущего с наполнителем 1:2 (5-10 мм) с увеличением наполнителя из золы ГУ до 50 % плотность снижается от 1880 до 1820 кг/м³. При соотношении 1:2 (0-5-10 мм) плотность МЗБ снижается от 1870 до 1815 кг/м³. При соотношении 1:3 (0-5-10 мм) плотность МЗБ снижается от 1860 до 1825 кг/м³. Таким образом наибольшее количество наполнителя из шлака в МЗБ приводит к незначительному увеличению плотности с изменением наполнителя в вяжущем ЦЗВ_н.

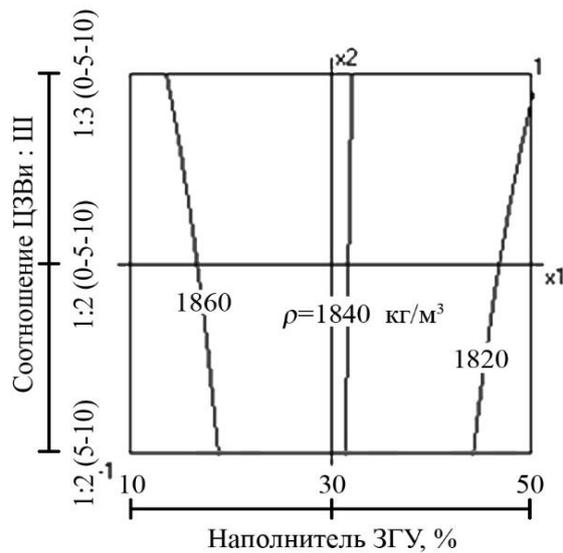


Рисунок 4.5 - Номограмма плотности МЗБ на вяжущем ЦЗВи

На рисунке 4.5 видно, что прочность после ТВО МЗБ зависит от количества наполнителя в вяжущем. Для МЗБ с соотношением 1:2 (5-10 мм) прочность снижается от 17МПа (10 % ЗГУ) до 12 МПа (50 %), при чем прочность остается стабильной при 30-50 % наполнителя в вяжущем ЦЗВи.

При соотношении 1:2 (0-5-10 мм) прочность после ТВО МЗБ снижается от 18 МПа до 12МПа на вяжущем с наполнителем 10-30 %, а затем прочность изменяется незначительно. Для МЗБ с соотношении 1:3 (0-5-10 мм) $R_{сж}^{ТВО}$ МЗБ резко падает с 20 МПа до 6 МПа, что связано с меньшим содержанием вяжущего ЦЗВи.

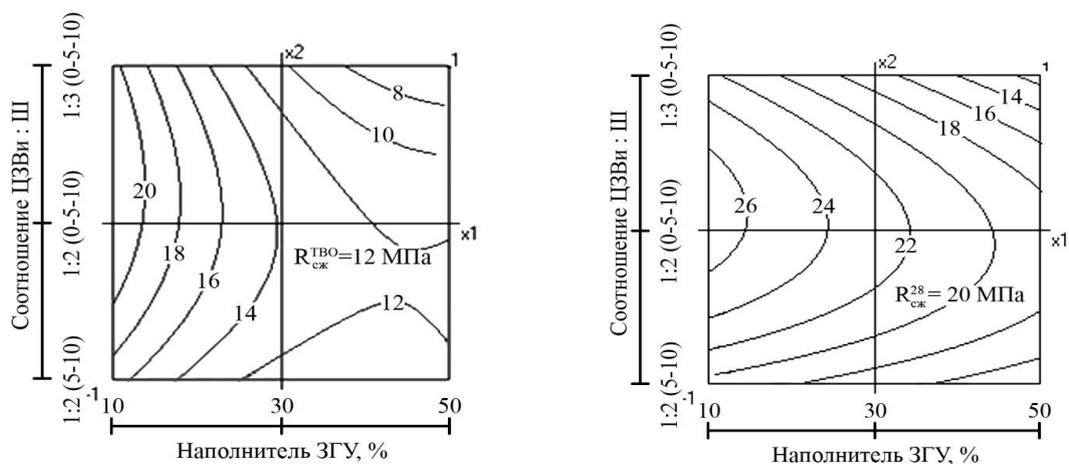


Рисунок 4.6 - Номограмма прочности после ТВО и 28 суток МЗБ на ЦЗВи

На рисунке 4.6 показано, что прочность МЗБ (соотношение 1:2 (5-10 мм) после 28 суток падает от 20 МПа до 15,5 МПа и при соотношении 1:2 (0-5-10 мм) снижается от 26,5 до 19 МПа. При соотношении в МЗБ 1:3 (0-5-10 мм) $R_{сж}^{28}$ резко снижается по мере увеличения наполнителя в ЦЗВи с 23 МПа до 12 МПа, т.е. почти в 2 раза.

Таким образом по результатам экспериментальных исследований установлено, что плотность и прочность МЗБ снижается по мере увеличения наполнителя из золы гидроудаления в композиционном вяжущем ЦЗВи. Причем наибольшие показатели прочности $R_{сж}^{28} = 26$ МПа установлены для состава МЗБ 1:2(0-5-10 мм), где плотность составляет 1860 кг/м^3 , а количество наполнителя в вяжущем может находиться в пределах 10 – 15.

4.4. Оптимизация составов мелкозернистого бетона на композиционном вяжущем из золошлаковой смеси и шлаковом заполнителе

Оптимизация составов МЗБ проводилась по результатам рабочего этапа исследований (глава 3.3.1), где реализован двухфакторный эксперимент. В качестве варьируемых переменных взяты: X_1 – количество ЗШС 10...50 % в вяжущем ЦЗШВи, %; X_2 – отношение между ЦЗШВи и шлаковым заполнителем разных фракций. Параметрами качества выбраны: Y_1 В/В – водовяжущее отношение; Y_2 – плотность МЗБ, кг/м^3 ; Y_3 – $R_{сж}^{\text{ТВО}}$ прочность после ТВО на сжатие, МПа; Y_4 – $R_{сж}^{28\text{сут}}$ прочность после 28 суток МПа на сжатие.

В таблицах 4.8 и 4.9 представлены уровни варьирования переменных и результаты 2-х факторного эксперимента.

Таблица 4.8. - Уровни варьирования переменных

Уровни факторов	Количество ЗШС в ЦЗШВи, %	Соотношение ЦЗШВи : Шлаковый наполнитель
-1	10	1 : 2 (фракций 5-10 мм)
0	30	1 : 2 (фракций 0-5-10 мм)
+1	50	1 : 3 (фракций 0-5-10 мм)

Таблица 4.9. - План и результаты эксперимента

№ опыта	Нормализованные факторы		Натуральные значения факторов		Y ₁ В/В	Y ₂ Плотн. (ρ), кг/см ³	Y ₃ R ^{ТВО} _{сж} в МПа	Y ₄ R ^{28сут} _{сж} в МПа
	x ₁	x ₂	X ₁ - ЗШС, %	X ₂ - Соотношение				
1	-1	-1	10	1:2(5-10 мм)	0,7	1900	12,55	18,64
2	1	-1	50	1:2(5-10 мм)	0,81	1690	10,64	11,8
3	-1	1	10	1:3(0-5-10 мм)	0,8	1800	13,71	14,42
4	1	1	50	1:3(0-5-10 мм)	0,78	1760	7,82	8,91
5	1	0	50	1:2(0-5-10 мм)	0,6	1800	10,49	12,49
6	-1	0	10	1:2(0-5-10 мм)	0,62	1850	19,69	20,91
7	0	1	30	1:3(0-5-10 мм)	0,8	1780	10,18	12,0
8	0	-1	30	1:2(5-10 мм)	0,68	1800	11,41	18,43
9	0	0	30	1:2(0-5-10 мм)	0,61	1820	13,3	16,1

Коэффициенты ЭС-модели плотности и прочности (4.1-4.3) и их графическая интерпретация показана на рисунках 4.7 - 4.8.

$$Y_2 (\rho) = 1823 - 50,0 x_1 - 0,0 x_1^2 - 8,3 x_2 - 35 x_2^2 + 42,5 x_1 x_2 \quad (4.4.1)$$

$$Y_3 (R^{ТВО}_{сж}) = 13,92 - 2,83 x_1 + 0,853 x_1^2 - 0,48 x_2 - 3,44 x_2^2 - 0,99 x_1 x_2 \quad (4.4.2)$$

$$Y_4 (R^{28}_{сж}) = 17,15 - 3,46 x_1 - 0,98 x_1^2 - 2,26 x_2 - 2,47 x_2^2 - 0,33 x_1 x_2 \quad (4.4.3)$$

По полученным моделям предварительно провели анализ о вкладе каждого фактора на плотность и прочностные свойства МЗБ. Из модели (4.7) видно, что оба фактора (количество наполнителя из ЗШВ в ЦЗШВ_и и соотношение ЦЗШВ_и : Шлак) снижают плотность бетона при верхних уровнях ($x_1, x_2 = 1$). Здесь линейные коэффициенты составляют ($b_1 = -50,0$ и $b_2 = -8,3$). Причем второй фактор, т.е. соотношение вяжущее и заполнитель оказывает наибольшее влияние. На показатель прочности МЗБ после ТВО наибольшее влияние оказывает первый фактор x_1 , т.е. количество наполнителя в вяжущем. Такая же картина влияния факторов наблюдается и в модели (4.9) прочности мелкозернистого бетона, твердеющего 28 суток в нормальных условиях.

Изменение плотности МЗБ при варьировании двух переменных x_1 и x_2 можно увидеть на рис. 4.4.1. При соотношении вяжущего с заполнителем 1:2 (5-10 мм) с увеличением наполнителя из ЗШС до 50 % плотность снижается от 1800 до 1700 кг/м³. При соотношении 1:2 (0-5-10 мм) плотность МЗБ снижается от 1820 до 1780 кг/м³. При соотношении 1:3 (0-5-10 мм) плотность МЗБ снижается от 1800 до 1780 кг/м³. Таким образом, наибольшее количество заполнителя из шлака в МЗБ приводит к незначительному увеличению плотности с изменением наполнителя в вяжущем ЦЗШВ_и.

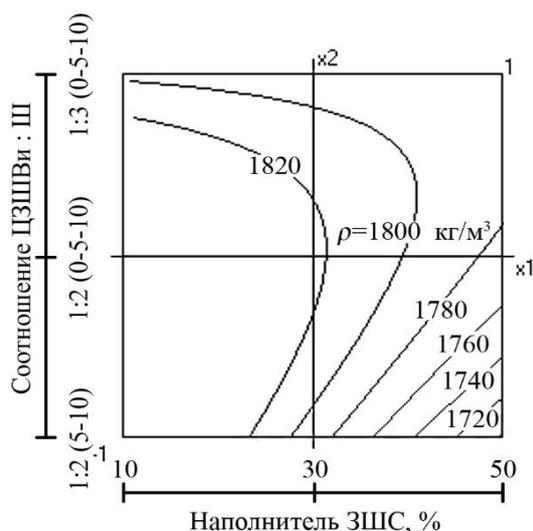


Рисунок 4.7 - Номограмма плотности МЗБ на вяжущем ЦЗШВ_и

На рисунке 4.8 видно, что прочность после ТВО МЗБ зависит от количества наполнителя в вяжущем. Для МЗБ с соотношением 1:2 (5-10 мм) прочность снижается от 16 МПа (10 % ЗГУ) до 12 МПа (50 %), при чем прочность остается стабильной при 30-50 % наполнителя в вяжущем ЦЗШВи.

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

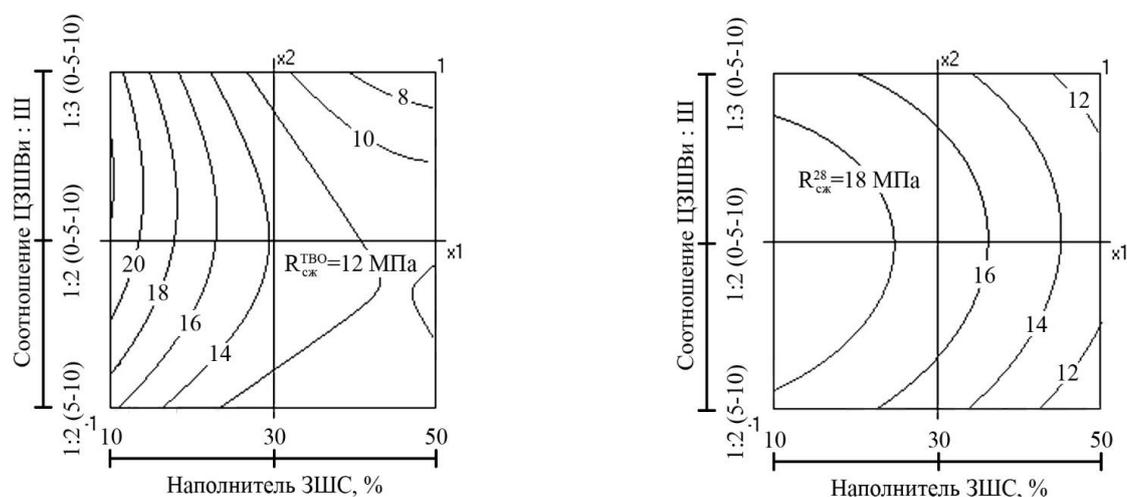


Рисунок 4.8 - Номограмма прочности после ТВО и 28 суток МЗБ на ЦЗШВи

На рисунке 4.8 показано, что прочность $R_{сж}^{28}$ падает от 17,8 МПа до 11,0 МПа, когда МЗБ имеет фракционный состав 5-10 мм и для соотношении 1:2 (0-5-10 мм) также снижается от 18,0 МПа до 13,0 МПа. В случае, когда в МЗБ соотношение составляет 1:3 (0-5-10 мм) $R_{сж}^{28}$ резко снижается по мере увеличения наполнителя в ЦЗШВи с 71,0 МПа до 12,5 МПа.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что прочность МЗБ снижается с увеличением концентрации ЗШС в вяжущем веществе. Оптимальный гранулометрический состав заполнителя из шлака обеспечивают уплотнение структуры бетона соответственно повышению его прочности.

Наиболее рациональным гранулометрическим составом шлакового заполнителя, по результатам максимальной прочности после ТВО МЗБ $R^{28}_{сж} = 22$ МПа является соотношение 1:2 (0-5-10 мм). Плотность МЗБ изменяется в пределах 1820-1850 кг/м³ при наполнении 10 %. При максимальной утилизации ЗШС 50 % обеспечивается прочность 12 МПа.

Анализируя основные свойства мелкозернистого бетона, можно отметить что вместо цемента вполне пригодны композиционные вяжущие наполненные золой гидроудаления и золошлаковой смесью определенной концентрацией. Кроме того, в качестве заполнителя может использоваться топливный шлак или его сочетание с природным песком.

Следует отметить, что показатели теплопроводности напрямую зависят от плотности вещества и являются важной характеристикой легких и облегченных бетонов. Результаты определения коэффициента теплопроводности МЗБ отражены в таблице 4.10.

Таблица 4.10. - Коэффициент теплопроводности мелкозернистых бетонов из шлака и зольных цементов

Плотность	Ед. изм.	Коэффициент теплопроводность, Вт/ (м×К)	Плотность	Коэффициент теплопроводность, Вт/ (м×К)
1300	кг/м ³	0,35	1700	0,57
1400	кг/м ³	0,40	1800	0,67
1500	кг/м ³	0,43	1900	0,74
1600	кг/м ³	0,48	2000	0,81

Известно, что в воздушном сухом состоянии теплопроводность тяжелого бетона соответствует 1,2 Вт/ м×К, а для мелкозернистого бетона на основе шлака и вяжущего с зольными отходами данный показатель в 2-4 раза больше.

В таблице 4.11. представлены оптимальные составы МЗБ на композиционных вяжущих (ЦЗВ_и, ЦЗШВ_и) с наполнителями 10 %, 30 % и 50 %.

Таблица 4.11. – Оптимальные составы мелкозернистого бетона на композиционных вяжущих на 1 м³

№ Состав	Вид вяжущего	Марка/класс бетона	Плотность МЗБ (ρ), кг/м ³	Содерж-е ПЦ, м ³	Содержание наполн-ля, м ³ , (%)	Количество заполнителя топливный шлак, м ³
2	МЗБ на композиционном вяжущем : Ш (шлак фр. 5-10мм) = 1:2					
	ЦЗШВ _и	200 (В15)	1820	0,297	0,033(10)	0,67
		150 (В10)	1780	0,23	0,10(30)	0,67
		100 (В7,5)	1730	0,16	0,17(50)	0,67
	ЦЗВ _и	200 (В15)	1840	0,3	0,03 (10)	0,67
		150 (В10)	1780	0,2	0,1 (30)	0,67
100 (В7,5)		1760	0,15	0,15(50)	0,66	
6	МЗБ на композиционном вяжущем:Ш(шлак фр. 0-5, 5-10мм) = 1:2					
	ЦЗШВ _и	200 (В15)	1850	0,3	0,03(10)	0,67
		150 (В10)	1810	0,23	0,10(30)	0,67
		100 (В 7,5)	1790	0,16	0,17(50)	0,67
	ЦЗВ _и	250	1880	0,30	0,03(10)	0,67
		200 (В15)	1840	0,23	0,1(30)	0,67
		150 (В10)	1820	0,20	0,13(40)	0,67
		100 (В 7,5)	1800	0,16	0,16(50)	0,67
7	МЗБ на композиционном вяжущем:Ш (шлак фр. 0-5, 5-10мм) = 1:3					
	ЦЗШВ _и	150 (В10)	1810	0,175	0,075(30)	0,75
		100 (В 7,5)	1750	0,125	0,125(50)	0,75
	ЦЗВ _и	200 (В15)	1860	0,2	0,05(20)	0,75
		150 (В10)	1830	0,163	0,09 (35)	0,75
		100 (В 7,5)	1820	0,225	0,025 (50)	0,75

Показатель низкой теплопроводности МЗБ на золосодержащих вяжущих и заполнителях из шлака объясняется стекловидной структурой частиц наполнителя и наличием мелких пор в структуре бетона.

Заключение по главе 4

- мелкозернистый бетон оптимального состава (6) имеет наибольшие показатели прочности $R_{сж}^{тво}$ и $R_{сж}^{28сут}$ при содержании золы ГУ 10 % и соотношении ЦЗВ_и: Ш (смесь фракций 0-5 и 5-10 мм) - 1:2. Прочность МЗБ $R_{сж}^{28сут} \geq 20,0$ МПа и плотность в пределах 1800-1820 кг/м³ обеспечивается при количестве наполнителя 40 %;

- в составе (7) МЗБ при соотношении ЦЗВ_и: Ш (смесь фр.0-5 и 5-10 мм) - 1:3 наблюдается снижение плотности мелкозернистого бетона до 10 - 18 МПа, а максимальная прочность на сжатие после 28 суточного твердения при нормальных условиях $R_{сж}^{28сут} = 20$ МПа достигается при наполнении вяжущего 10 % золой гидроудаления;

- по результатам испытаний образцов, твердеющих в течении 28 суток в нормальных условиях, описываются более высокими показателями прочности, чем после термовлажностной обработки. Этому подтверждение поведение минералов цемента при процессе гидратации, то есть во взаимодействии их с водой по сравнению с частицами золы;

- в результате исследований установлена закономерность, что чем ниже марка мелкозернистого бетона, тем большее количество топливных отходов можно использовать в цемент;

- Наибольшие показатели прочности МЗБ $R_{сж}^{28} = 20,9$ МПа установлены для состава МЗБ с соотношением ЦЗВ_и, ЦЗШВ_и к заполнителю 1:2 (0-5-10 мм), где плотность колеблется 1820-1850 кг/м³, а количество наполнителя в вяжущем 10 %;

- получен облегченный мелкозернистый бетон при соотношении вяжущих состава 1:2 с характеристиками: с плотностью $\rho=1800-1880$ кг/м³, В7,5-15 морозостойкостью (Мрз 100); $\lambda=0,72$ Вт/мК;

- при соотношении состава 1:3 с характеристиками: с плотностью 1700-1870 кг/м³, с морозостойкостью (Мрз 75); $\lambda=0,67$ Вт/мК и маркой М150-200;

- изготовленные стеновые блоки, полученные на основе цементно-золевых и цементно-золошлаковых вяжущих и заполнителях из топливного шлака по результатам испытаний соответствуют требованиям ГОСТ 6133-99 «Камни бетонные стеновые».

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТОЗОЛОШЛАКОВЫХ, ЦЕМЕНТНОЗОЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ И ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

5.1. Технология производства цементозолошлаковых вяжущих веществ

Технология производства бетонов с использованием в композиционных вяжущих золошлаковых отходов несколько отличается от традиционного ряда основных организационных и технологических решений. Как показали исследования (глава 3), композиционные вяжущие с использованием золы гидроудаления и золошлаковой смеси в оптимальном количестве по основным свойствам не уступают традиционным цементам и могут использоваться в производстве бетонов и изделий для гражданского и промышленного строительства. При получении композиционных вяжущих веществ золошлаковые отходы в определенном количестве после соответствующей подготовки (дробление, сушка, просев и т.п.) могут смешиваться с цементом в бетономешалках, либо предварительно подвергаться диспергации, т.е. активации в помольных агрегатах различного типа.

Для получения композиционного вяжущего ЦЗШВ при использовании золошлаковой смеси, образующейся в топках котлоагрегатов с твердым шлакоудалением, предусматривается механическое отделение дроблением крупных спекшихся кусков шлака, их классификация для отделения мелких фракций менее 2,5 мм и дальнейший совместный помол с цементом.

В котельных городах и населенных пунктах, где в топках котлоагрегатов предусмотрено твердое шлакоудаление, золошлаковые отходы скапливаются в большом количестве и могут успешно использоваться в производстве вяжущих.

Отличительной особенностью технологии приготовления цементозолошлакового вяжущего (ЦЗШВ) отличается отсутствием необходимости в предварительной сушке золошлакового отхода.

Технологическая схема состоит из следующих операций (рисунок. 5.1.1).

Поставка золошлаковой смеси может осуществляться автосамосвалами на промежуточный склад сырья предприятия (1). Через приемный бункер (2) ленточным транспортером (3) ЗШС подается на дробление в щековую дробилку (4). Далее по ленточному транспортеру (5) через приемный бункер(6) с встроенным дозатором ЗШС поступает на грохота для отделения крупных фракции ≥ 5 мм (7). Мелкие фракции ЗШС через бункер питатель (8) в определенной дозировке поступают в шаровую мельницу (11) для дальнейшего измельчения с цементом, поступающего также через бункер-питатель (10). Из шаровой мельницы композиционное вяжущее подается в силос-слад (12) для дальнейшего хранения и упаковки в крафт-мешки.

В производственных условиях ЗАО «Кум-Шагыл» по предложенной технологической схеме получена партия цементозольного вяжущего в условиях предприятия выпущена опытная партия композиционного цементозолошлакового вяжущего с содержанием золы ГУ 20 %. Результаты испытания цементозолошлакового композиционного вяжущего представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1. – Физико-механические свойства ЦЗШВ вяжущего

Номер Составов	Соотнош-е компон-в Ц:ЗШС, %	Ед.изм.	Норм. густота	Тонкость помола, %	Время схватывания час, мин.		Прочность после ТВО, МПа		Прочность после 28 суток твердения	
					нач.	кон.	R _{тво} изг., МПа	R _{тво} сж., МПа	R 28 _{изг.} , МПа	R 28 _{сж.} , МПа
1	100 : 0	%	24	87	1ч.29м	7ч.31м	4,12	19,32	6,88	33,46
3	80:20	%	27	87	2,4	5,4	4,8	21,0	7,2	32,0

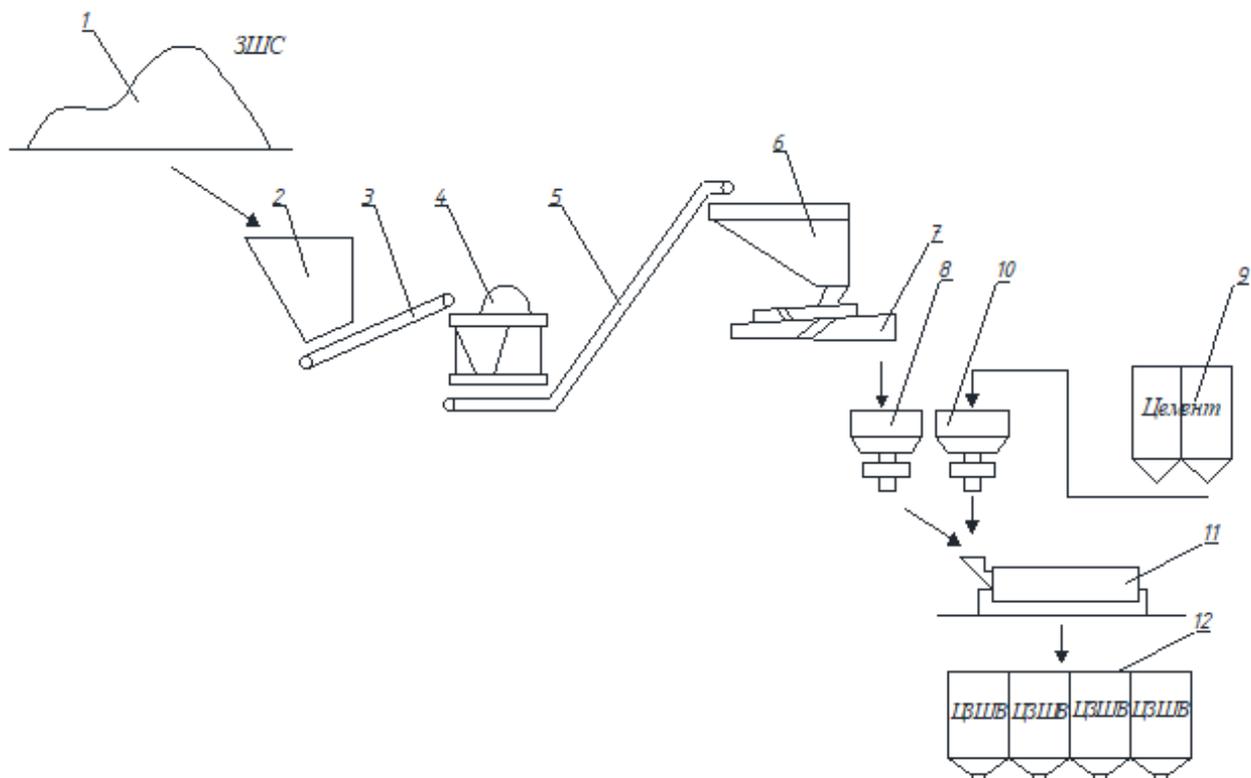


Рисунок 5.1 - Технологическая схема изготовления композиционных вяжущих веществ ЦЗШВ

Условными обозначениями на рисунке 5.1 являются: 1-ЗШС; 2,6 - бункер приемный; 3,5 - транспортер ленточный; 4 - дробилка щековая; 7 - грохот; 8, 10 - бункер с питателем для цемента и ЗШС; 9 - силосы для цемента; 11 - мельница шаровая; 12 - силосы для ЦЗШВ.

Технология производства композиционных вяжущих веществ на основе золошлаковой смеси была апробирована в условиях предприятия ЗАО «Кум-Шагыл» и получены следующие результаты:

- показана возможность использования ЗШС в качестве наполнителя в цемент при производстве композиционного цементнозолошлакового вяжущего;
- показатели физико-механических свойств ЦЗШВ_и зависят от количества наполнителя - ЗШС и времени активации;
- апробирована технология производства композиционного цементнозолошлакового вяжущего в условиях ЗАО «Кум-Шагыл».

- рассчитаны технико-экономические характеристики производства цементнозолошлакового композиционного вяжущего вещества.

5.2. Технологическая схема производства стеновых блоков на основе цементнозолошлакового вяжущего

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.

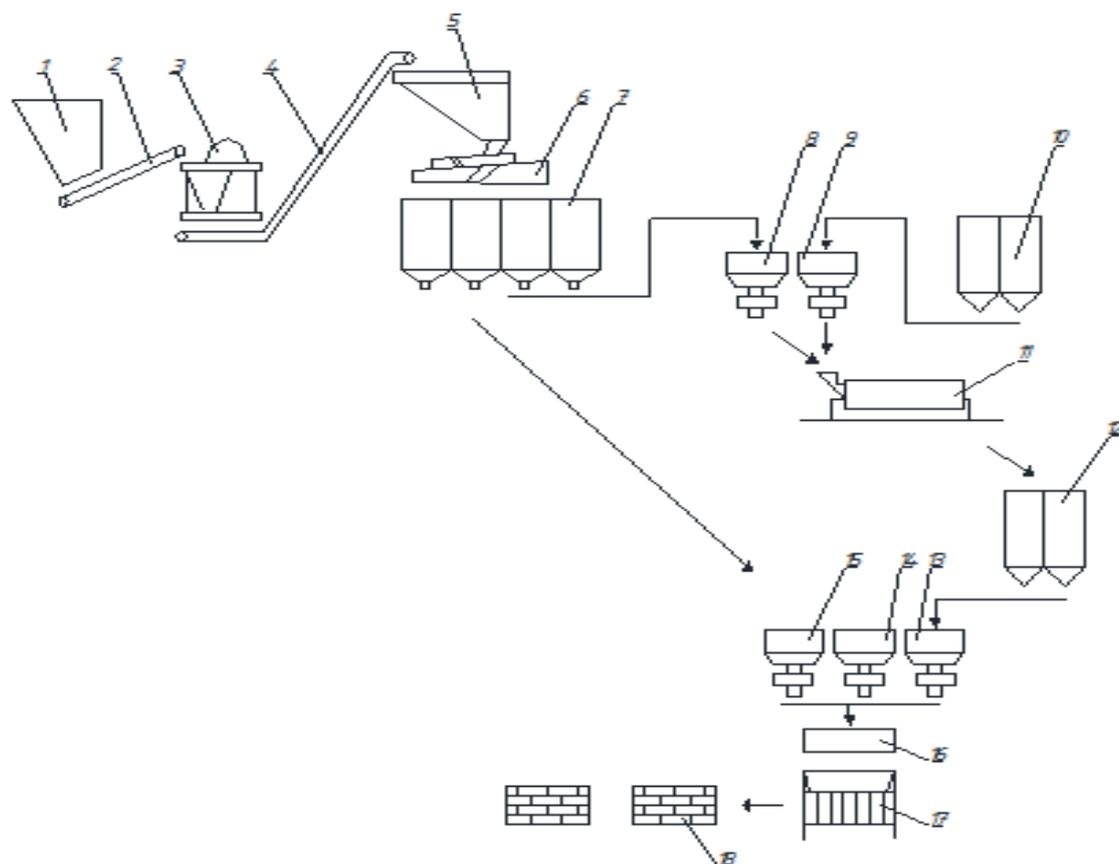


Рисунок 5.2. - Технологическая схема производства композиционных вяжущих веществ и стеновых блоков.

На рисунке 5.2. приняты условные обозначений технологических стадий: 1- приемный бункер; 2-4-ленточный транспортер; 3-щековая дробилка; 5- приемный бункер; 6-грохот; 7-силосы для разных фракций шлака; 8-бункер шлака с питателем; 9-бункер цемента с питателем; 10-силос для хранения цемента; 11-шаровая мельница; 12-силос для композиционных вяжущих; 13- бункер для вяжущего с питателем; 14- бак для воды с дозатором; 15-бункер для заполнителя (шлака); 16-смеситель; 17-формовочная установка для формования стеновых блоков; 18-склад готовой продукции

Производство стеновых блоков на композиционном вяжущем наполненного ЗШСи топливным заполнителем организовано по технологической схеме, представленной на рисунок 5.2. Золошлаковая смесь промежуточного склада завода поставляется с приемного бункера (1) ленточным транспортером (2) для дробления в щековую дробилку (3), затем измельченный шлак через бункер (5) подается на грохот (6), где разделяется на фракции 0-5 и 5-10 мм, который хранятся в силосах (7). Далее золошлаковая смесь мелких фракций поставляется в бункер с питателем (8), дозируется и подается в определенном количестве шаровую мельницу (11). Сюда же в мельницу через бункер с питателем (9) подается портландцемент, где осуществляется совместный его помол с ЗШС. Полученное цементнозолошлаковое вяжущее насосами поставляется в силоса (12) для дальнейшего хранения и использования.

Дальнейшее приготовление мелкозернистой бетонной смеси осуществляется в следующей технологической последовательности: приготовленное ЦЗШВ_н из силоса (12) с помощью пневмотранспорта поставляется в бункер с питателем, затем дозируется и подается в смеситель (16); шлаковый заполнитель определенной фракции в определенном количестве из бункера (15) также подается в смеситель (16); вода в определенном количестве

из бака с дозатором (14) поставляется в смеситель (16). Из смесителя приготовленная таким образом бетонная смесь попадает на ленточный транспортер и поставляется этап формования (17), снабженной пультом управления. Процессы загрузки смеси в формы, уплотнение вибрированием и выдвигание стеновых блоков и укладка на стеллажи осуществляются автоматически. На складе готовой продукции (18) стеновые блоки хранятся и поставляются далее потребителю.

Стеновые блоки размером 390x190x188 мм (0,01м³) в количестве 100 штук изготовлены из композиционного вяжущего (наполнитель - 20% ЗШС) и мелкого заполнителя из шлака фракций (0-5 и 5-10 мм) при соотношении 1:2 и 1:3.

Определение физико-механических характеристик стеновых блоков производилось в лаборатории кафедры ПЭСМИиК на контрольных образцах размером 15 × 15 × 15 мм (таблица 5.2.).

Таблица 5.2. – Физико-механические свойства МЗБ состава 1:3 на основе 20% ЗШС ЦЗШВ для изготовления проектируемых стеновых изделий

Номер	Соотношение компонентов	Подвижность смеси, см	В/Ц	Плотн. ρ, кг/м ³	Прочность после ТВО, МПа	Прочность после 28 сут., МПа	Мрз, цикл	λ, Вт/(м 0С)
1	ЦЗШВ _и : Ш (0-5 и 5-10 мм) 1:3	3 см	0,78	1770	10,92	12,6	75	0,67

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

Технология производства вяжущих и стеновых блоков с использованием топливного шлака в виде мелкого заполнителя была апробирована в условиях предприятия ЗАО «Кум-Шагыл» и получены следующие результаты:

- возможность использования композиционного цементнозолошлакового вяжущего и мелкого заполнителя из топливного шлака при производстве стеновых блоков для малоэтажного строительства;
- зависимости основных физико-механических характеристик мелкозернистых бетонов от процентного содержания в композиционном вяжущем наполнителя из золошлаковой смеси и соотношения его с мелким заполнителем из топливного шлака разных фракций;
- разработана технологическая карта на производство стеновых блоков, изготовленных из композиционного цементнозолошлакового вяжущего и мелкого заполнителя из шлака в условиях ЗАО «Кум-Шагыл»;
- рассчитаны технико-экономические характеристики производства стеновых блоков из мелкозернистого бетона на цементнозолошлаковом вяжущем и мелком заполнителе из топливного шлака.

5.3. Техничко-экономические показатели производства цементнозолошлакового вяжущего

Экономический эффект производства цементозольных вяжущих веществ 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;

Золошлаковый отход – 200 кг;

2. На производство 1 тонны ЦЗШВ делаем расчет стоимости сырьевых материалов:

Портландцемент – $5000 \times 0,80 = 4000,0$ сом;

Золошлаковый отход – $150 \times 0,20 = 30,0$ сом;

Всего стоимость сырья составила - 4030 сом.

Все расходы для производства ЦЗШВ представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3. – Себестоимость при производстве 1 тонны ЦЗШВ

№ пп	Наименование статей расхода	Ед. изм.	Расход на 1 тонну	
			Кол-во	В сомах
1	Сырьевые материалы			
	Портландцемент		5000	4000
	Золошлаковый отход		150	30
	Итого			4030
	Вспомогательные материалы			
2	Энергия на технологические нужды	кВт/ч	25	30.1
3	Заработная плата исполнителей	сом	—	10.6
4	Заработная плата добавочная	сом	—	1.5
5	Отчисления в социальный фонд	%	—	2.1
6	Затраты на содержание оборудования	сом	—	50.2
7	Цеховые расходы	сом	—	40.1
8	Общезаводские расходы	сом	—	42.6
9	Себестоимость готовой продукции	сом	—	4207.2
10	Налог на добавленную стоимость (НДС)	%	12	504.864
11	Местные налоги	%	2	84.144
12	Заводская себестоимость	сом	—	4796,208

- Цена сырьевых материалов и топливных отходов получена по данным существующих строительных организаций.

- В пунктах (4), (6), (7), (8) были взяты готовые данные действующих промышленных предприятий.

- Выплаты в социальный фонд – ставка налога составляет 17,25 % от фонда ЗП.

- Местные налоги составляют 2 % от суммы расходных статей и составил 84,144 сом.

- Налог на добавленную стоимость (НДС) равен 12 % от затрат на сырье (504,868 сом).

- Прибыль по стройиндустрии составляет равной 8 % от общей стоимости.

$$П = 4796,208 \times 0,08 = 383,697 \text{ сом.}$$

ЭЭ за 1 год от выпуска композиционного цементнозолошлакового вяжущего (ЦЗШВ) в объеме 10 000 т составит 3 836 970 сом.

5.4. Технико-экономические характеристики производства стеновых блоков

Проектируемые стеновые блоки были изготовлены в соотношении ЦЗШВ:Ш=1:3.

1. Определяем расход сырьевых материалов на 1 м³ (100 штук) мелкозернистого бетона плотностью 1840 кг/м³ при соотношении 1:3 - вяжущее : шлаковый заполнитель (0-5 и 5-10 мм) составляет:

2. ЦЗШВ – 0,25 (460кг)

Шлак – 0,75 (1380 кг)

3. ЦЗШВ – $4616 \times 0,46 = 2123$ сом

Шлак - $150 \times 1,380 = 207$ сом

Всего стоимость сырьевых материалов - 2330 сом.

Расчет себестоимости 1 м³ мелкозернистого бетона (100 штук блоков) плотностью 1840 кг/м³ представлены в таблице 5.4.

Таблица 5.4. – Калькуляция себестоимости 1 м³ мелкозернистого бетона (на 100 штук стеновых блоков)

№ пп	Сырье и материалы	Стоимость за ед.	Расход материалов на т/1 м ³ В-15 (М200)					
			Заводской вариант		Предлагаемый Вариант 1		Предлагаемый Вариант 2	
			Заполнитель – (песок)				Заполнитель – (шлак) фр. 0 -5;5-10мм	
			за 1 м ³	сом	за 1 м ³	сом	за 1 м ³	сом
1	Цемент	5000	0.43	2150	-	-		
2	Композиционн ое вяжущее ЦЗШВ	4616	-	-	0.46	2123	0.46	2123
3	Песок (природный)	300	1.645	234	1.645	234	-	-
	Шлак фракции (0-5, 5-10 мм)	150	-	-			1,38	207
5	Вода	10 сом/ м ³	0.215	2.15	0.215	2.15	0,2	2,15
6	Добавка	40	0,006	240	0,006	240	-	-
7	Технологическ ие затраты	2,5 сом/квт	10	25	10	25	10	25
Итого				2651		2624		2355

Таким образом, при изготовлении 1 м³ (100 штук) стеновых блоков из мелкозернистого бетона плотностью 1840 кг/м³ 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.

5.5. Технология производства цементозольных вяжущих веществ

Самым распространенным и востребованным материалом в современном строительстве остаются бетоны, состав которых в последние десятилетия дополнился наличием различных модифицирующих добавок, регулирующих и повышающих его структурно-механические характеристики.

При организации производства бетонов на композиционных вяжущих предпочтительнее использовать «отлежавшуюся» золу гидроудаления по нескольким причинам. В результате вылеживания в золоотвале она содержит меньшее количество соединений серы и щелочных оксидов, которые естественным образом вымываются из частиц золы [1].

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 [15]. «Отлежавшиеся» золы гидроудаления являются более экологичными по содержанию тяжелых металлов по сравнению с золами текущего выхода [28].

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.

Как считают многие исследователи, длительное нахождение золы в отвалах приводит к усреднению и улучшению ее характеристик.

Кроме того, обезвоживание золы, влажность которой в золоотвалах может достигать 45 %, позволяет существенно снизить энергозатраты при сушке материала в сушильном агрегате.

На Бишкекской ТЭЦ системой гидроудаления полидисперсная золошлаковая смесь направляется в золоотвалы жилого массива Бакай-Ата. Здесь поблизости места выброса пульпы расположена шлаковая зона отвала, где оседают частицы крупностью более 0,25 мм и далее в отдалении располагается зольная зона с частичками менее 0,25 мм.

Для организации производства на заводе должен быть предусмотрен промежуточный склад с запасом золы для годовой работы завода. Отсюда с помощью экскаватора и автосамосвала зола гидроудаления подается в отделение для приготовления композиционного вяжущего.

Технологическая схема производства цементнозольного композиционного вяжущего (ЦЗВ) состоит из следующих последовательных операций (рис. 5.5).

Отбор золы гидроудаления (отлежавшейся) из золоотвала может осуществляться автосамосвалами на промежуточный склад сырья предприятия (1). Обезвоживание зольных отходов естественной влажности проводится механическим буртованием на открытой площадке золоотвала.

Со склада зола отбирается ковшовым автопогрузчиком в приемный бункер с колосниковой решеткой.

Посредством ленточного питателя из бункера материал подается в сушильный барабан (2), где осуществляется сушка золы теплоносителем (смесь дымовых газов с воздухом) до влажности 0,5 %.

В летний период при влажности золы 0,5 % сырье может подаваться напрямую в шаровую мельницу для помола с цементом. Барабанные сушилки должны быть оснащены высокопроизводительными рукавными фильтрами, где оседает тонкодисперсная фракция золы. Данный продукт из фильтров системой

пневмотранспорта подается в отдельный силос либо подается вместе с основным продуктом в шаровую мельницу.

Высушенная зола из шнекового транспортера через бункеры-дозаторы подается в шаровую мельницу (6), где в зависимости от времени измельчается совместно с цементом до требуемой удельной поверхности не менее 350 м²/кг. Туда же из силосного склада (3) подается цемент в заданном количестве.

Одним из основных моментов изменения технологии является дозирование цементных вяжущих и подготовленного наполнителя из золы гидроудаления, которое осуществляется весовыми дозаторами с точностью ± 1%, расположенных под бункером-питателем (4,5). Дозировка составляющих вяжущего производится в зависимости от требуемой марки цемента и в первую очередь зависит от доли золы ГУ в цементе.

Следующим технологическим переделом является транспортировка ЦЗВ_и, которая осуществляется при помощи насосов в силосы (3), где вяжущее хранится или подается для упаковки в тары в виде мешков.

Транспортировка композиционных цементнозольных вяжущих производится с помощью насосов, различных модификаций и мощностей и складировается в силосы (3). Заключительным этапом является их упаковка в тары, разового предназначения или бумажные мешки. Для охраны окружающей среды от воздействия пыли, выделяемой при упаковке, используются современные циклоны улавливания мелкодисперсной пыли.

Таблица 5.5. – Свойства ЦЗВ_и, измельченного в течение одного часа

№ состава	Соотношение компонентов Ц : Зола, (%)	Нормальная густота, %	Тонкость помола, %	Время схватывания мин.		Прочность после ТВО, МПа		Прочность после 28суток, МПа	
				начало	конец	R _{изг.} , МПа	R _{сж.} , МПа	R _{изг.} , МПа	R _{сж.} , МПа
1	100:0	24	87	1,6	4,55	4,2	19,12	6,75	33,46

2	90 : 10	28	89	1,5	4,0	5,6	21,4	5,5	32,9
3	70:30	29	90,3	1,7	5,6	5,3	20,2	3,3	30,9

В условиях предприятия ЗАО «Кум-Шагыл» испытана опытная партия композиционных цементнозольных вяжущих веществ, наполненных золой гидроудаления. Результаты испытания цементнозольных композиционных вяжущих представлены в таблице 5.5.

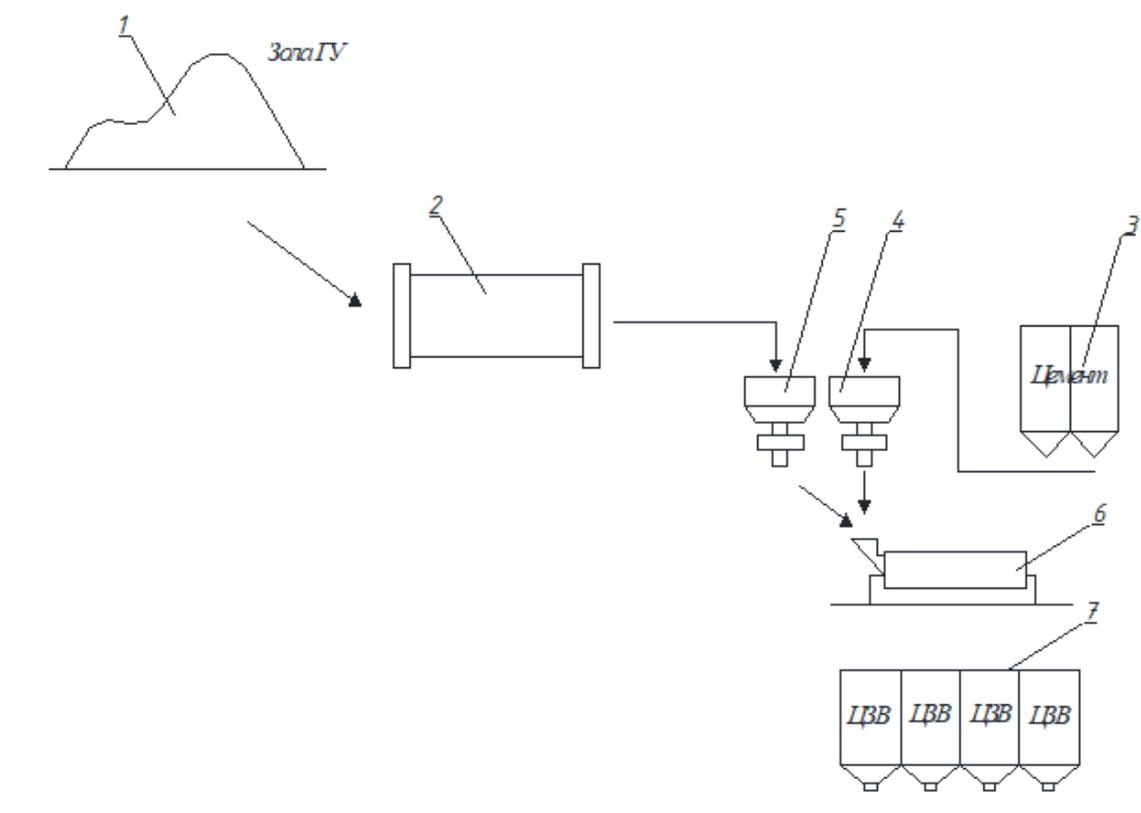


Рисунок 5.3 - Технологическая схема производства цементнозольных композиционных вяжущих

На рисунке 5.3. показана технология производства ЦЗВ_и на производстве с условными обозначениями технологических этапов: 1 - зола ГУ; 2 - барабанная сушилка; 3 - силосы для цемента 4 - бункер с питателем для цемента; 5 - бункер с питателем для золы ГУ; 6 - шаровая мельница; 7 - силосы для композиционных вяжущих веществ (ЦЗВ)

Технология производства вяжущих с использованием композиционных вяжущих веществ на золе гидроудаления была апробирована в условиях предприятия ЗАО «Кум-Шагыл» и получены следующие результаты:

- возможность использования золы гидроудаления в качестве наполнителя в цемент при производстве композиционного цементнозольного вяжущего;
- показатели физико-механических свойств цементозольного вяжущего в зависимости от количества наполнителя – золы гидроудаления и времени активации;
- разработана технология производства композиционного цементнозольного вяжущего в условиях ЗАО «Кум-Шагыл»;
- рассчитаны технико-экономические характеристики производства цементнозольного композиционного вяжущего вещества.

5.6. Техничко-экономические характеристики производства цементнозольного вяжущего

1. Рассчитываем расход сырьевых материалов на производство 1 т ЦЗВ, которая составляет в процентном содержании, 70:20:

Портландцемент – 700 кг;

Зольные отходы – 300 кг;

2. Производим расчет стоимости сырьевых компонентов на 1 т ЦЗВ:

Цемент – $5000 \times 0,70 = 3500,0$ сом;

ЗШО – $150 \times 0,30 = 45,0$ сом;

Всего стоимость сырьевых материалов - 3545 сом

- Цена сырьевых материалов и топливных отходов получена по данным существующих строительных организаций.

- В пунктах 4, 6, 7, 8 были взяты данные действующих предприятий.

- Выплаты в социальный фонд – ставка налога составляет 17,25 % от фонда заработной платы. Основные прямые расходы при производстве ЦЗВ представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6. – Себестоимость одной тонны ЦЗВ

№ пп	Наименование расхода	Ед.изм.	Расход на 1 тонну	
			Количество	В сомах
1	Сырьевые материалы			
	Цемент 700		5000	3500
	ЗШС 300		150	45
	Итого			3545
	Вспомогательные материалы			
2	Энергия на технологические нужды	кВт/ч	25	30.1
3	Заработная плата исполнителей	сом	—	10.6
4	Заработная плата -добавочная	сом	—	1.5
5	Отчисления в социальный фонд	%	—	2.1
6	Затраты на содержание оборудования	сом	—	50.2
7	Цеховые расходы	сом	—	40.1
8	Общезаводские расходы	сом	—	42.6
9	Себестоимость готовой продукции	сом	—	3722.2
10	Налог на добавленную стоимость	%	12	425,4
11	Местные налоги	%	2	74.44
	Заводская себестоимость	сом	—	4277,88

- Местные налоги составляют 2 % от суммы расходных статей (74,4 сом).

- Налог на добавленную стоимость (НДС) равен 12 % от затрат на сырье (425,4 сом).

- Прибыль по строительной отрасли равна 8 % от общей стоимости.

$$П = 4277,88 \times 0,08 = 342,23 \text{ (сом)}$$

эффект за 1 год от выпуска композиционного цементнозольного вяжущего (ЦЗВ) 10 000т составит 3 422 300 сом.

5.7. Технико-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 представлен в таблице 5.7.

Таблица 5.7. - Калькуляция затрат на производство 1 м³ тяжелого бетона В 15 (М200) и В 7,5 (М100)

№ п/п	Сырье и материалы	Стои- мость за ед.	Расход материалов на т/1 м ³							
			Заводской				Предлагаемый			
			В-15 (М200)	В-7,5 (М100)	В-15 (М200)	В-7,5 (М100)	В-15 (М200)	В-7,5 (М100)	В-15 (М200)	В-7,5 (М100)
			за 1 м ³		сом		за 1 м ³		сом	
1	Цемент	5000	0,345	0,235	1725	1175	-	-	-	-
2	ЦЗВ _и	4278	-	-	-	-	0,345	0,235	1476	1005
3	Песок	300	0,780	0,92	234	276	0,780	0,92	234	276
4	Щебень	150	0,15	0,07	159	161	0,15	1,07	159	161
5	Вода (за 1 м ³)	10	0,195	0,18	1,9	1,8	0,210	0,18	2,3	1,8
6	Добавка	40	0,003	0,001	120	40	0,003	0,001	120	40
7	Технологи- ческие затраты (1 квт)	2,5	10	10	25	25	10	10	25	25
Итого					2263	1678			2014	1507

В таблице 5.7 показано, что предлагаемый тяжелый В-15 (М200) бетон на цементнозольном вяжущем ЦЗВ_и экономичнее заводского на 249 сом. Стоимость бетона марки В-7,5 (М100) на 170 сом ниже заводского. Наиболее ощутимая 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**.

Заключение по главе 5

Апробация в полупромышленных условиях технологии получения цементнозолошлаковых, цементнозольных композиционных вяжущих и изделий на их основе показала:

- использование в качестве наполнителей золошлаковой смеси в количестве 20 % позволило получить равнозначные цементы без потери прочности М300. Причем для вяжущего, наполненного золошлаковой смесью отмечено более высокая прочность на изгиб и твердеющего в нормальных условиях 28 суток и в условиях ТВО;

- исследованные и спроектированные могут быть предложены для изготовления мелкозернистых бетонов и растворов различного назначения;

- экономический эффект составит 3 836 970 сом при изготовлении цементнозолошлакового вяжущего (ЦЗШВ) в количестве 10 000 т в год;

- на 10 000 штук условного стенового блока из ЦЗШВ и мелкого заполнителя из шлака при соотношении 1:3 составит экономическая эффективность составит 29 600 сом;

- наполнение цемента 30 % высушенной золой гидроудаления и дальнейшее совместное измельчение в шаровой мельнице по результатам испытаний позволяет получить ЦЗВ_и соответствующее М300;

- композиционные цементнозольные и цементнозолошлаковые вяжущие, активированные помолом могут альтернативой чистому цементу и эффективность их применения тем выше, чем ниже марка бетона;

- при условии выпуска ЦЗШВ 10 000 тонн в год экономический эффект составит 3 422 300 сом;

- при выпуске 10000 тонн тяжелого бетона В-15 (М200) экономия составит 2490000 сом и бетона В-7,5 (М100) экономия составит 1 700 000 сом;

- использование золошлаковых смесей и золы гидроудаления в качестве наполнителя в цемент позволит сократить расход дорогостоящего портландцемента, значительно расширить сырьевую базу для строительной индустрии и решить проблему охраны окружающей среды больших и малых населенных пунктов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Комплексный анализ показал, что по содержанию основных оксидов золошлаковая смесь и зола гидроудаления равнозначны и по содержанию кремнезема SiO_2 – 52,09 и 52,0 % и модулю основности M_o - 0,14 и 0,11 относятся к кислым.

2. Анализ гранулометрического состава показал, что золошлаковая смесь (ЗШС) представляет собой полидисперсную смесь фракций: 5-20мм - 49,4 %; золошлакового песка 0,16-5 мм - 40,6 % и зольная пыль с частицами < 0,16 мм - 9,9 %;

3. Зола ГУ в основном состоит из тонкодисперсных частиц: 0,16-0,63 мм – 10,3 %; фракции 0,08-мм – 53,1 %; фракции менее 0,05 мм – 55,8 %.

Отмечена ее легкая размалываемость, где при помоле 0,5 часа зола ГУ достигает дисперсности цемента 310 м²/кг; в течении 1 часа 360 м²/кг; за 1,5 часа помола дисперсность составила 380 м²/кг и через 3 часа дисперсность остается в пределах 390 м²/кг.

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

5. Установлено, что при помоле 10 % добавки ЗШС с цементом обеспечивается вяжущему ЦЗШВ_и максимальная прочность $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 38$ МПа, превышающей прочность исходного цемента на 13 %. Равнозначная прочность цементу $R^{28\text{сут}}_{\text{сж}} = 33$ МПа обеспечивается при помоле 0,5...2 часа и ЗШС 10...40 %.

6. Установлено, что использование цементнозольных или цементнозолошлаковых вяжущих (10-50 %) и топливных шлаков фракций 0-5 и 5-10 мм позволяет получать мелкозернистые бетоны классов В 7,5-В20 (М100-250).

7. Экономический эффект от выпуска ЦЗВ_и (зола ГУ 30 %) 10 000т в год составит 3 422 300 сом.

- экономический эффект выпуска (ЗШС 20 %) 10 000т в год составит 3 836 970 сом.

- экономический эффект при выпуске 10000 тонн бетона В-15 (М200) составит **2 490 000 сом** и бетона В-7,5 (М100) составит **1 700 000 сом**.

- экономический эффект при изготовлении 10 000 штук условного стенового блока из мелкозернистого бетона В-15 (М200) экономическая эффективность составит 29 600 сом.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Апробация в полупромышленных условиях, полученных цементнозолошлаковых, цементнозольных композиционных вяжущих и изделий на их основе показала:

- возможность использования в качестве наполнителей золошлаковой смеси в количестве 20 % позволило получить равнозначные цементы без потери прочности марки М300;

- исследованные и спроектированные композиционные вяжущие вещества могут быть предложены для изготовления мелкозернистых бетонов и растворов различного назначения;

- композиционные цементнозольные и цементнозолошлаковые вяжущие, активированные помолом могут быть альтернативой чистому цементу и эффективность их применения тем выше, чем ниже марка бетона;

- использование золошлаковых смесей и золы гидроудаления в качестве наполнителя в цемент позволит сократить расход дорогостоящего портландцемента, значительно расширить сырьевую базу для строительной индустрии и решить проблему охраны окружающей среды больших и малых населенных пунктов;

- результаты исследований были использованы и внедрены в учебный процесс при изучении дисциплины «Мелкозернистый бетон на основе отходов» на кафедре «Технологические машины и строительство» горно-технологического института Жезказганского университета имени О.А. Байконурова в Республике Казахстан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Абдыкалыков, А. А.** Оптимизация зернового состава наполнителя для бетонов [Текст] / А.А.Абдыкалыков. – Б.: Илим, 1995. – 150 с.
2. Моделирование и оптимизация свойств композиционных строительных материалов [Текст] / А.А.Абдыкалыков, В.А. Вознесенский, А.С.Мавлянов, Т.В.Лященко. – Ф.: ФПИ, 1988. – 109 с.
3. **Адеева, Л. Н.** Зола ТЭЦ – перспективное сырье для промышленности [Текст]: кн. для чтения / Л.Н.Адеева, В. Ф. Борбат. – О.: Вест. Омск.ун-та, 2009. 137 с.
4. **Адлер, Ю. П.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю.П.Адлер, Е.В.Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
5. **Азаров, М. В.** Золошлаковые и бесклинкерные цементы [Текст] / М.В. Азаров, А.А. Петухов, Г. С. Зубарь – Н.: Темп, 2004. – 188 с.
6. **Аксенова, Л. Л.** Переработка и утилизация строительных отходов для получения эффективных зеленых композитов / Л.Л.Аксенова, Л.В. Бугаенко. – Казань: 2014. – 63-65 с.
7. **Алтынова, М. В.** Некоторые экологические аспекты использования золы-уноса тепловых электрических станций [Текст] / М.В.Алтынова. – Н.: Недр, 21 с.
8. **Ананьев, В. М.** Использование золы-уноса в качестве добавки при производстве тяжелого бетона [Текст]: учеб.пособие для вузов / В.М.Ананьев, В. Н. Левченко, А.А.Вишневский. – М.: Наука, 2006. – 32 с.
9. **Ананьев, Г. Д.** Перспективы использования золы и шлака тепловых электростанций в народном хозяйстве [Текст] / Г.Д.Ананьев. – М.: Наука, 2000г. – 11 с.
10. **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

11. **Ахвердов, И. Н.** Высокопрочный бетон. [Текст] / И.Н.Ахвердов. - М.: Госстройиздат,1961. – 56 с.

12. **Бабушкин, В. И.** Термодинамика силикатов [Текст] / В.И. Бабушкин, Г.М. Матвеев, О.П. Мчедлов-Петросян. – М.: Стройиздат,1986. – 408 с.

13. **Баженов, Ю. М.** Высокопрочный мелкозернистый бетон для армоцементных конструкций [Текст] / Ю.М. Баженов. - М.: Госстройиздат, 1941. – 25 с.

14. **Баженов, Ю. М.** Основные подходы к компьютерному материаловедению строительных материалов [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Наука, 2006. – 2 с.

15. **Баженов, Ю. М.** Прогнозирование свойств бетонных смесей и бетонов с техногенными отходами [Текст]: учеб.пособие для вузов / Ю.М.Баженов, Л. А.Алимов, В. В.Воронин. – М.: Стройиздат, 1997. — 68 с.

16. **Баев, В. С.** Опыт и перспективы комплексного использования золошлаковых отходов [Текст]: кн. для чтения / В.С.Баев, Н. А. Машкин. – М.: Стройиздат, 2008. – 42 с.

17. **Баев, В. С.** Физико-химические основы создания композиционных строительных материалов: монография [Текст] / В.С.Баев, А.Б. Виноградов, М.С. Чемерис. – Н.: Гос.аграр.ун-т, «Золотой колос», 2016. – 244 с.

18. **Балюра, М. В.** Некоторые результаты исследований строительных свойств золошаков [Текст]: кн. для чтения / М.В.Балюра, А. П. Полищук, В. В. Фурсов. — Т.: Изд-во Томского ун-та, 1990. —85 с.

19. **Бариев, Э. Р.** Использование золошлаковых отходов Казанской ТЭЦ-2 в строительной промышленности [Текст]: кн. для чтения / Э.Р. Бариев, А. И. Агаева, Э.А. Королев. – М.: Наука, 2005. 44 с.

20. **Бикбау, М. Я.** Экология и строительство [Текст] / М.Я. Бикбау – М.: Наука, 2000. 9 с.
21. **Бирюков, В. В.** Проблемы и перспективы использования золошлаковых отходов [Текст]: кн. для чтения / В.В.Бирюков, В. В. Сиротюк, В. Р. Шевцов. – М.: Стойиздат, 2008. – 7 с.
22. **Эффективные направления крупномасштабного использования золошлаковых отходов [Текст] / В.В.Бирюков, С.Е. Метелев, В.В. Сиротюк, В.Р.Шевцов. – М.: Наука, 2008. – 66 с.**
23. **Белякова, Ж. С.** Экологические, материаловедческие и технологические аспекты применения зол ТЭС в бетоне [Текст]: кн. для чтения / Ж.С. Белякова, Е. Г. Величко, А Г. Комар. – М.: Стройиздат, 2001. – 46 с.
24. **Обеспечение стабильности свойств золошлаковых отходов Иркутской области при применении в цементных материалах / С.А.Белых, М.Н. Черниговская, Э.Э.Буянова, Т.А.Меркульева. – 2006. - № 5 – С.235-239.**
25. **Борисенко, Л. Ф.** Перспективы использования золы угольных тепловых электростанций [Текст]: кн. для чтения / Л.Ф.Борисенко, Л.М.Делицын, А.С. Власов. – М.: Наука, 2004. – 68 с.
26. **Брунарски, Л.** Естественная радиоактивность строительных материалов [Текст]: кн. для чтения / Л.Брунарски, М.Кравчик. – М.: Балласт, 1990. – 44 с.
27. **Буравчук, Н. И.** Ресурсосбережения в технологии строительных материалов / Н.И.Буравчук. - Ростов-на-Дону: Наука, 2009. – 54 с.
28. **Буравчук, Н. И.** Перспективные направления утилизации отходов добычи и сжигания углей [Текст]: кн. для чтения / Н.И.Буравчук, О. В. Гурьянова, Е. П. Огороков. – Харьков: Наука, 2008. – 86 с.
29. **Бутт, Ю. М.** Гидратация золы сланцев Кашпирского месторождения [Текст]: кн. для чтения / Ю.М.Бутт, Б.Г.Варшал, А.А.Майер. – М.: Наука, 1961. – 28 с.

30. **Ватин, Н. И.** Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве [Текст]: кн. для чтения / Н.И.Ватин, Д.В. Петросов. – М.: Наука, 2011. – 16 с.
31. **Вегерова, Н. В.** Исследование морозостойкости, водостойкости и коррозионной стойкости арматуры в безцементном мелкозернистом золошлакобетоне [Текст] / Н.В. Вегерова. – Новокузнецк: Сиб.гос.индустр.ун-т, 2000. – 138 с.
32. **Вегерова, Н. В.** Физико-механические и деформативные свойства бесцементного золошлакобетона во времени [Текст] / Н.В.Вегерова. – Новокузнецк: Сиб.гос.индустр.ун-т., 2000. – 145 с.
33. **Вейл, Дж.** Продукты от сжигания угля в Европе – ценное сырье для строительной промышленности [Текст] / Дж. Вейл. – М.: Наука, 2007. – 248 с.
34. **Величко, Е. Г.** Некоторые аспекты физикохимии и механики композитов многокомпонентных цементных систем [Текст]: кн. для чтения / Е.Г.Величко, Ж.С.Белякова. – М.: Стройиздат, 1997. —21 с.
35. **Винокуров, С. Ф.** Особенности комплексной переработки золошлаков ТЭЦ [Текст]: кн. для чтения / С.Ф.Винокуров, И. В. Николаев. – М.: Наука, 2005. – 2 с.
36. **Вишневский, А. А.** Производство ячеистого бетона на основе золы-уноса [Текст]: кн. для чтения / А.А.Вишневский, В. Н. Левченко. 2005. — СПб.: 2005. —111 с.
37. **Вишня, Б. Л.** Перспективные технологии удаления, складирования и использования золошлаков ТЭС [Текст]: кн. для чтения / Б.Л. Вишня, В. М. Уфимцев, Ф. Л. Капустин. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. – 156 с.
38. **Власова, В. В.** Перспективы переработки техногенного сырья (на примере золошлаковых отходов ТЭС Иркутской области) [Текст] / В.В.Власова. – Иркутск: Западный Горный институт, 2005. – 43 с.
39. **Внуков, А. Н.** Эффективные золошлакобетоны с добавками водорастворимых полимеров: автореф. дис.канд.тех.наук [Текст] / А.Н.Внуков. – Воронеж: Воронеж.воен. авиац. инж. инт., 2005. – 18 с.

40. **Вознесенский, В. А.** Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст] / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
41. **Вознесенский, В. А.** Принятие решений по статистическим моделям [Текст]: кн. для чтения / В.А. Вознесенский, А.Ф. Ковальчук. – М.: Статистика, 1978. – 192 с.
42. **Вознесенский, В. А.** Современные методы оптимизации композиционных материалов [Текст]: кн. для чтения / В.А. Вознесенский, В.Н. Выровой, В.Я. Керш и др. – Киев: Будевельник, 1983. – 144 с.
43. **Волженский, А. В.** Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов [Текст]: кн. для чтения / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Ю. Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 198 с.
44. **Волженский, А. В.** Технология и свойства золопесчаных бетонов [Текст]: кн. для чтения / В.А.Вознесенский, Л.Б. Гольденберг. - М.: Стройиздат, 1979. – 78 с.
45. **Волженский, А. В.** Мелкозернистый бетон с добавкой золы [Текст]: кн. для чтения / А.В.Волженский, И.Ю. Данилович, Л.Б.Гольденберг. - М.: Стройиздат, 1978. – 47 с.
46. **Волженский, А. В.** Исследование процессов твердения вяжущих на основе гранулированных топливных шлаков [Текст]: кн. для чтения/ А.В.Волженский, Б.Н.Виноградов, К.В.Гладких. – М.: Стройиздат, 1960. – 49 с.
47. **Бетоны и изделия из шлаковых и зольных материалов [Текст] /** А.В.Волженский, Ю.С.Буров, Б.Н.Виноградов, К.В. Гладких. – М.: Стройиздат, 1969. – 66 с.
48. **Волженский, А. В.** Безобжиговые искусственные заполнители для легких бетонов [Текст]: учеб.пособие / А.В.Волженский, К.В. Гольденберг, А.М.Юдина. – М.: Стройиздат, 1979. – 41с.

49. **Володько, В. П.** Применение зол и шлаков тепловых электростанций в дорожном строительстве [Текст] / В.П.Володько. – Киев: НОВА, 1974. – 19 с.
50. **Выровой, В. Н.** Физико-химическая механика и оптимизация композиционных материалов [Текст]: кн. для чтения / В.Н. Выровой, Т.В. Ляшенко-К. – Одесса: Об-во «Знание», 1987. – 19 с.
51. Исследование золы Фрунзенской ТЭС для изготовления зольного керамзита [Текст] / С.Я.Гайворонский, И.В.Савелов, С.Г.Караханиди, Н.М.Иванова. – Фрунзе: Наука, 1974.– с.18.
52. **Ганичева, О. А.** Изготовление бетонов с использованием золошлаковых отходов угольных ТЭЦ [Текст] / О.А. Ганичева. – М.: Наука, 2005. - 16 с.
53. **Гиббс Дж.** Термодинамика:Статистическая механика [Текст] / Дж.Гиббс. - М.: Наука,1980. – 584 с.
54. **Гольденберг, Л. Б.** Производство изделий из песчаного бетона с добавками зол [Текст]: кн. для чтения / Л.Б.Гольденберг, М.А. Горюнов. - М.: 1980, – 28 с.
55. **Гольдштейн, Л. Я.** Использование топливных зол и шлаков при производстве цемента [Текст]: кн. для чтения / Л. Я. Гольдштейн, Н. П. Штейерт. – Л.: Стройиздат, 1977. – 152 с.
56. **Гольдштейн, Л. Я.** Использование золы в качестве активной минеральной добавки [Текст]: кн. для чтения / Л.Я.Гольдштейн, В.П. Манцурова. – М: Стройиздат, 1971. – 26 с.
57. **Гольдштейн, Л. Я.** Методы определения активности минеральных добавок к цементам [Текст]: кн. для чтения / Л.Я.Гольдштейн, Г.Ф. Ермакова. – М: Стройиздат, 1998. – 52 с.
58. **Гончарова, Л. В.** Техногенные отходы ТЭС, их многообразие и возможности использования [Текст] / Л.В.Гончарова. – М.: Наука, 2003. – 113 с.

59. **Гончарова, М. А.** Применение принципов нанотехнологии при получении композиционных шлаковых строительных материалов [Текст] / М.А.Гончарова. – М.: Наука, 2008. – 61 с.
60. **ГОСТ 1. 310.1-76.** Цементы. Методы испытаний. Общие положения [Текст]. – Введ.1978-01-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1978. – 6 с.
61. **ГОСТ 24640-91.** Добавки для цементов. Классификация. [Текст]. – Введ.1991-07-01. – М.: СТАндинформ, 2010. – 25 с.
62. **ГОСТ Р 7.0.100-2018.** «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления» [Текст]. – Введ.2018-12-03. – М.: Стандартиформ, 2018. – 52 с.
63. **ГОСТ 7.59-2003.** Международный стандарт. Индексирование документов. Общие требования к систематизации и предметизации [Текст]. – Введ.2004-01-01. – М.: Изд-во «Техэксперт», 2004
64. **ГОСТ Р 57789-2017.** Зола, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС для производства искусственных пористых заполнителей. Технические условия [Текст]. – Введ. 2017-10-12. - Москва: Стандартиформ, 2017. - III, 7 с.
65. **Горбунов, С. П.** Оптимизация составов тяжелых бетонов применением тонкодисперсных добавок [Текст] / С.П. Горбунов. – М.: Наука, 2012. – с. 30.
66. **Горчаков, Г. И.** Использование золы гидроудаления в бетоне [Текст] / Г.И.Горчаков, Э.Г.Мурадов, Н.А.Сканави. - Л.: Стройиздат, 1976. – 56 с.
67. **Гужелев, Э. П.** Рациональное применение золы ТЭЦ: Результаты научно-практических исследований [Текст] / Гужелев, Э.П., Ю. Т.Усманский. - Омск: Омский гос. ун-т, 1998. - 238 с.
68. **Гусев, Б. В.** Оценка эффективности применения кондиционной минеральной добавки на основе золошлаковых смесей ТЭС в технологии производства бетонов [Текст] / Б.И. Гусев. – 2015. - №5-6. – 38 с.

69. **Данилович, И. Ю.** Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов [Текст] / И.Ю. Данилович. - М.: Высш.шк., 1988. - 72с.
70. **Данилович, И. Ю.** Использование зол и золошлаковых смесей в тяжелых и облегченных бетонах [Текст] / И.Ю. Данилович. - М.: МНСУ, 2000. - с.87-89.
71. **Дарманская, Т. А.** Утилизация зольных отходов [Текст] / Т.А.Дарманская. - 2010. - Янв. – с.39-41.
72. **Дворкин, Л. И.** Снижение расхода цемента и топлива в производстве сборного железобетона [Текст] / Л.И. Дворкин. - К.: Вища шк., 1985. - 99 с.
73. **Дворкин, Л. И.** Эффективность цементов с минеральными добавками в бетонах [Текст] / Л.И.Дворкин, О.Л. Дворкин. - С.-Петербург: 2002. - №2. - с.41-43.
74. **Дворкин, Л. И.** Строительные материалы из промышленных отходов: Учеб. пособие для вузов [Текст] / Л. И.Дворкин, И. А. Пашков. – Киев: Выш. школа. Головное изд-во, 1980. - 144с.
75. **Дворкин, Л. И.** Золосодержащие вяжущие низкой водопотребности и бетоны на их основе [Текст] / Л.И.Дворкин, Ю.В.Гарницкий, В.В. Марчук. – 2012. - № 5-6. – с. 24-27.
76. **Дворкин, Л. И.** Строительные материалы из отходов промышленности: учебное справочное пособие [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. - Ростов н/Д.: Феникс, 2007. - 363 с.
77. **Дворкин, Л. И.** Физико-механические свойства активированных цементно-зольных вяжущих [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – 2010. - № 11-12. – с.35-37.
78. **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

TechnologyMaterials of the II international scientific-practical conference. Intwovolumes. Editorby S. Midelski. – Измир, 2017. - С. 175-181.

79. **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.

80. **Джусупова, М.А.** Композиционные вяжущие на основе отходов [Текст] / М.А. Джусупова, С.Т. Кульшикова // Актуальная наука. – Волгоград: 2017. - №5 (5). - С. 10-15.

81. **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.

82. **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.

83. **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.

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

85. **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.

86. **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.

87. **Делицын, Л. М.** Комплексное использование углей ТЭС [Текст] / Л.М.Делицын, А. С. Власов// - 2002. - № 8. – С.37-39.

88. **Деницын, Л. М.** Необходимость новых подходов к использованию золы угольных ТЭС [Текст] / Л.М.Делицын, А. С. Власов// 2010. - №4. – с.49-55.

89. **Делицын, Л. М.** Возможные технологии утилизации золы [Текст] / Л.М.Делицын, Ю. В.Рябов, А. С.Власов// - М.: 2014. - № 2. – с.60-66.

90. **Диамант, М. И.** Свойства высокопрочного мелкозернистого бетона на гранулированном доменном шлаке [Текст] / М.И.Диамант, Н.И.Федынин // – 1972. – № 7. – 84 с.

91. **Дятлов, А. К.** Композиционные вяжущее для мелкозернистых самоуправляющих бетонов [Текст] / А.К.Дятлов, А.И. Харченко, М.И. Баженов, И.Я. Харченко//. – 2012. - №5. – с.153-159.

92. **Еременко, Е. В.** Опыт Каширской ГРЭС по решению проблемы утилизации золошлаков [Текст] / Е.В.Еременко // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование: материалы 3 междунар. науч.-практ. семинара. – М.: 2010. - с.43-44.

93. **Ефременко, А. С.** применение золошлаковых отходов ТЭС при производстве высокопрочных легких бетонов [Текст] / А.С.Ефременко, Е.П.Халтаева // . – 2014. - №8 (91). – с.86-89.

94. **Жабо, В. В.** Использование золошлаков тепловых электростанций в строительной индустрии [Текст] / В.В.Жабо // . - 2007. - №3. – с.10-12.

95. **Жарко, В. И.** Ресурсная база минеральных добавок для производства цемента[Текст] / В.И.Жарко // . - Москва: Экспоцентр, 27-29 ноября 2012 г.

96. **Зайченко, Н. М.** Высокопрочные мелкозернистые бетоны с модифицированными минеральными добавками из золошлаковых отходов

Углегорской ТЭС [Текст] / Н.М.Зайченко // . – Донецк: ПромстройНИИпроект, 2007. – с.145-151.

97. Золосиликатный кирпич: Информационный листок: № 112(442а). [Текст] / Фрунзе: КиргизНИИНТИ, 1989. –205 с.

98. **Зольников, Г. С.** Использование отходов промышленности в производстве строительных материалов за рубежом / Г.С. Зольников // . –М.: 1987.

99. **Зоткин, А. Г.** Микронаполняющий эффект минеральных добавок в бетоне [Текст] / А.Г.Зоткин. - 1994. - №3. – с.7-9.

100. **Зоткин, А. Г.** Назначения составов бетона с золой [Текст]/ А.Г.Зоткин, Р.Ф.Балтаков//. – 1988. - №1. – с. 31-33.

101. **Зоткин, А. Г.** Прочностные эффекты золы в бетоне [Текст] / А.Г.Зоткин // . – 2018. - №10. – с.44-47.

102. **Зоткин, А. Г.** Эффекты от минеральных добавок в бетоне [Текст] / А.Г. Зоткин // . – 2007. - с. 44-47.

103. **Иванов, И. А.** Легкие бетоны на основе зол электростанций [Текст]/ И.А.Иванов. - М.: 1972.

104. **Иваныкина, О. В.** Изучение токсичности отходов предприятий топливно-энергетического комплекса Кемеровской области [Текст]/ О.В.Иваныкина, Н.В. Журавлева // . – 2-3 апреля 2008 г. – Харьков.

105. Лесовик В.С. Использование промышленных отходов КМА в производстве строительных материалов [Текст] / В.С. Лесовик. - ВНИИЭСМ, 1987.105

106. Использование зол ТЭС в производстве строительных материалов. Обзор.информ. [Текст] - М.: 1983.

107. **Ильичев, В. А.** О развитии производства строительных материалов на основе вторичных продуктов промышленности [Текст] / В. А. Ильичев, Н.И.Карпенко, В. Н. Ярмаковский // . – 2011. - №4. – С. 36-42.

108. **Ковалёва, А. М.** Порядок проведения контроля в строительстве [Текст] / А.М.Ковалёва, А.С. Семёнов, Ю.А. Ряховский // . – 2017. – №1(9).

109. **Казанский, В. М.** Использование зол ТЭЦ с повышенным содержанием несгоревшего топлива [Текст] / В.М.Казанский, З.С. Красильников и др.//. -1989, -№3. – С.14-15.
110. **Калашников, В. И.** Терминология науки о бетоне нового поколения [Текст] / В.И. Калашников // . - 2011. - №3. - С. 103–106.
111. **Калашников, В. И.** Как превратить бетоны старого поколения в высокоэффективные бетоны нового поколения [Текст] / В.И.Калашников // . - 2012. - №1. - С. 82.
112. **Калашников, В. И.** Бетоны нового поколения на основе сухих тонкозернисто-порошковых смесей. [Текст] / В.И. Калашников, О.В.Тараканов, Ю.С.Кузнецов, В.М.Володин, Е.А.Белякова // . - 2012. - №8 (34). – С.47–53.
113. **Капленко, О. А.** Современная универсальная добавка ЖККА [Текст] / О.А.Капленко // . – Новосибирск: Изд-во: «СибАК», 2013. –№ 12 (25). – С.119–126.
114. **Караханиди, С. Г.** Использование природных сырьевых материалов и попутных продуктов промышленности в производстве строительных материалов [Текст] / С.Г.Караханиди // . – Фрунзе: Киргиз НИИНТИ,1990. – 56 с.
115. **Качаев, Г. В.** Экологическая оценка искусственных смесей, созданных на основе золошлаков Березовской ГРЭС-1 и рекомендуемых для восстановления природных экосистем [Текст] / Г.В.Качаев, Г.А.Демиденко, Н.В.Фомина // . – 2011. - № 9. – с.161-168.
116. **Ким, Б. Г.** Механизм упрочнения бетона минеральной добавкой из отходов доломита [Текст] / Б.Г.Ким, Л.В. Закревская, А.В. Журавлев, Р.М. Дворников // . – 2018. - №7-8. – 4с.4-45.
117. **Козлова, В. К.** Использование зол тепловых электростанций в производстве строительных материалов [Текст] / В.К.Козлова // . – Барнаул:1975. - 24 с.
118. **Козлов, И. М.** Применение новых технологий при переработке золошлаковых отходов на ТЭЦ-22 ОАО «Мосэнерго». Электрические станции.

- / И.М.Козлов, Е.В.Чернышев, С.Н.Кочуров, В.А.Ильин, Б.А.Бровкин // . – 2005.
118. **Кокубу, М.** Зола и зольные цементы [Текст] / М.Кокубу // – М.:1972. – С.405-416.
119. **Кокубу, М.** Цемент с добавкой золы –уноса [Текст] / М.Кокубу, Д. Ямада // . – М.: 1976.
120. **Кучеров, Г. С.** Композиционные вяжущие с минеральными добавками различного генезиса и бетоны на их основе: автореф.дисс. на соискание ученой степени канд.тех.наук: [Текст] / Кучеров, Г. С. // Белгород: 2011. – С. 100-106.
121. **Кульшикова, С. Т.** Оценка влияния золошлаковой смеси на основные свойства композиционного вяжущего. / С.Т. Кульшикова // . – 2018. - №56. – С.25-29.
122. **Кульшикова, С. Т.** Оптимизация рецептурно-технологических факторов вяжущего с использованием золы гидроудаления Бишкекской ТЭС республики Кыргызстан [Текст] / С.Т. Кульшикова // Актуальные вопросы науки. – Москва: 2018. - №41. - С. 188-193.
123. **Кульшикова, С. Т.** Композиционные вяжущие с использованием золошлаковых отходов [Текст] / С.Т. Кульшикова // Актуальная наука. - Волгоград: 2018. - №9 (14). - С. 9-14.
124. **Кульшикова, С. Т.** Особенности гидратации золоцементных веществ [Текст] / С.Т. Кульшикова // Сборник материалов Совместной Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективности в строительстве». – Алматы: 2018. – С. 189-193.
125. **Кульшикова, С. Т.** Эффективное использование топливных шлаков ТЭС в мелкозернистых бетонах [Текст] / С.Т. Кульшикова // Colloquium-journal ISSN 2520-6990 Architecture Technical science Physicsandmathematics. – Варшава, 2019. - №2 (26). - С.33-35.
126. **Кульшикова, С. Т.** Мелкозернистые бетоны на композиционных вяжущих и заполнителях из золошлаковых отходов теплоэнергетики [Текст] /

С.Т. Кульшикова // Materials of the IV International Scientific-Practical Conference. - Istanbul, 2019. - С. 302-307.

127. **Корнилов, А. В.** Комплексная технология оценки минерально-строительного сырья [Текст] / А.В.Корнилов, Т.З.Лыгина // . – 2005. - №12. – с.78-79.

128. **Овчинников, Р. В.** Модификация портландцемента золошлаковыми отходами [Текст] / Р.В.Овчинников, А.Г.Авакян // . - 2014. - №2. – с.1-7.

129. **Овчинников, Р. В.** Модификация структуры цементных бетонов наполнителями из золошлаковых отходов Новочеркасской ГРЭС: дис.на соискание ученой степени канд.тех.наук [Текст] / Р.В. Овчинников // . - Новочеркасск: 2014.

130. **Ларионова, З. М.** Формирование структуры цементного камня и бетона [Текст] / З.М.Ларионова // . - М.: Стройиздат. 1971.

131. **Любимова, Т. Ю.** О свойствах контактной зоны на границе между вяжущим и заполнителем в бетоне [Текст] / Т. Ю. Любимова, Э. Р. Пинус // . - М.: Госстройиздат, 1962.

132. **Макаренко, С. В.** Влияние зол-уноса и золошлаковых смесей ТЭС ОАО «Иркутскэнерго» на свойства цемента [Текст] / С.В.Макаренко, Д.И. Баишев, О.В. Хохряков, В.Г. Хозин // . - 2014. - № 4. - С. 278-283.

133. **Мавлянов, А. С.** Комплексное использование минерального сырья [Текст] / А.С. Мавлянов, А.А.Абдыкалыков, Б.Т. Ассакунова // . - Бишкек: 2016.

134. **Мелентьев, В. А.** Гидрозолоудаления и золоотвалы [Текст] / В.А.Мелентьев, Е.З.Нагли // . –Л.:1968.

135. **Мириев, И. И.** Технология и свойства высокопрочных мелкозернистых бетонов [Текст] / И.И. Мириев // . – Баку: Азербайджанское гос. изд-во, 1961.

136. **Мороз, М. Н.** Эффективные бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности [Текст] / М. Н. Мороз, В.И.Калашников, И.В.Ерофеева // . – 2015. - №6. – с. 189-191.

137. **Мчедлов-Петросян, О. П.** О физико-химических основах бетона [Текст] / О.П. Мчедлов-Петросян, А.Г. Бунакова, Ю.А. Воробьев // . – 1962. - вып.54. - с.215.
138. **Нгуен, Т. Х.** Высококачественный бетон с использованием золы рисовой шелухи в условиях жаркого влажного климата Вьетнама: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук [Текст] / Т. Х.Нгуен // . - Московский государственный строительный университет. - Москва: 2005. – 171 с.
139. **Нгуен, Т. Т.** Научно-технические предпосылки разработки огнестойкого и водостойкого неавтоклавного газобетона для условий Вьетнама [Текст] / Т.Т. Нгуен, Д.В. Орешкин // . - 2014. - № 5 (46). – С.117-125.
140. **Павленко, Т. М.** Новая технология золошлаковых бетонов [Текст] / Т.М.Павленко // . -2017. - №3(229-230). - ISSN 2312-2676.
141. **Павленко, С. И.** Использование зол с повышенным содержанием несгоревшего топлива в строительных материалах и изделиях [Текст] / С.И.Павленко // . – Новокузнецк: Издательство Госстроя СССР, 1990. - том 1. - с. 80-97.
142. **Пантелеев, В. Г.** Состав и свойства золы и шлака ТЭС: справ. пособие [Текст] / В. Г. Пантелеев, Э. А. Ларина, В. А. Мелентьев и др.; под ред. В. А. Мелентьева // . - Ленинград: Энергоатомиздат, 1985. –285с.
143. **Партуга, Д. С.** Рациональное использование золошлаковых отходов в строительных материалах [Текст] / Д.С.Партуга, В.А. Тютюнов // . - 2013. – с. 79-82.
144. **Петров, В. П.** Пористые заполнители из шлаков тепловых электростанций для однослойных стеновых панелей [Текст] / В.П.Петров // . - 2002. - №9. – с.14-15.
145. Пат. RU 2363885 С1 Российская Федерация Способ и технологическая линия для переработки золошлаковых отходов из отвалов системы гидроудаления тепловых электростанций. [Текст]/ приоритет от 11.01.2008 - аналог.

146. Пат.2526072 Российская Федерация, МПК С04/В40/00(2006.01). Способ приготовления золобетонной смеси [Текст] / А.Г.Авакян, П.С.Маслов, Р. В.Овчинников, В.П.Шавлов; Новочеркасский политехнический институт. - 2013. - бюл. №23.

147. Пат.2553817 Российская Федерация, МПК С04В 28/26 (2006.01) Сырьевая смесь для приготовления золошлакового бетона [Текст] / В.В.Русина,Е.В. Корда, А.Н. Громова, Д.Н. Корнеев. - 2015. бюл. №17.

148. Пат.2569132 Российская Федерация, МПК В03В 9/24(2006.01). Способ переработки золошлаковых отходов из отвалов системы гидрозолоудаления тепловых электростанций с целью получения кондиционных зольных продуктов [Текст] / А.Н.Набоков Т.П., Щеблыкина. - 2015. бюл. №32.

149. Пат. RU₍₁₁₎ 2 569 132 ₍₁₃₎ С1 Способ переработки золошлаковых отходов из отвалов системы гидрозолоудаления тепловых электростанций с целью получения кондиционных зольных продуктов [Текст] / 20.11. 2015. Бюл. №32.

150. **Прошин, А. П.** Особо тяжелый высокопрочный бетон на основе вторичного сырья [Текст] / А.П. Прошин, В.С. Демьянова, Д.В. Калашников // . - 2003. - № 8. – с. 8—9.

151. Применение металлургических шлаков и зол электростанций в строительстве [Текст] / Под ред. Н.И. Федынина // . – Кемерово: Кемеровское книжное изд-во, 1970.

152. **Пугин, К. Г.** Строительство автомобильных дорог с использованием техногенных материалов. [Текст] / К.Г.Пугин, В.С. Юшков // . – 2011. - № 1. – с.35-43.

153. **Путилов, В. Я.** Основные барьеры на пути эффективного решения проблемы обращения с золошлаками энергетики / В.Я.Путилов, И.В.Путилова, Е.А.Маликова. –ш 2013. - № 1. – с.16-23.

154. **Пеничный, Г. Н.** О твердении цемента, деструкции и ползучести бетонов [Текст] / Г.Н. Пшеничный // . – 2009. - №11-12. – с.22-23.

155. **Радомский, С. М.** Экологические проблемы золошлакоотвала Благовещенской ТЭЦ [Текст] / С.М.Радомский, А.Ф. Миронюк, В. И. Радомская и др. // . – 2004. - № 3. – с.7-9.
156. **Райхель, В.** Бетон: в 2-х ч. Ч.1 Свойства. Проектирование. Испытание. [пер. с нем. О. П. Мчедлов-петросян. Под ред. В. Б. Ратионова] [Текст] / В. Райхель, Д. Конрад // . - М.: Стройиздат, 1979.- 111с.
157. **Ратинов, В. Б.** Химическая стойкость цементного камня, цементно-песчаного раствора и бетона на шлакопортландцементях в кислых средах [Текст] / В. Б.Ратинов, В.Д. Миронов // . - М.: Стройиздат, 1969. №16 (44).
158. Применение золы гидроудаления Омских ТЭЦ в технологии бетона [Текст]/ М.А.Ращупкина, А.Ф.Косач, В. А. Попов // . - 2005. - № 10. - С. 17-20.
159. **Ребиндер, П. А.** В кн.: Физико – химическая механика дисперсных структур [Текст] / П.А.Ребиндер // . - М.: « Наука», 1966.
160. Рекомендации по применению в бетонах золы, шлака и золошлаковой смеси тепловых электростанций [Текст] / НИИЖБ. – М.: Стройиздат. 1986. - 80с.
161. **Рояк, С. М.** Специальные цементы: учебное пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / С.М.Рояк. – М.: Стройиздат, 1983. - 252с.
162. **Савелов, И. В.** Использование зол гидроудаления в строительстве и производстве строительных материалов Киргизии: Обзорная информация [Текст] / И.В.Савелов, С.Г. Караханиди, Н.М. Иванова// . – Фрунзе: КиргизНИИИТИ, 1976. – с. 1-44.
163. **Сигитова, И. С.** Оценка эффективности и классификация минеральных добавок к цементам и бетонам [Текст] / И.С.Сигитова. - 2009 с.1109-1113.
164. **Соломатов, В. И.** Новый подход к проблеме утилизации отходов в стройиндустрии [Текст] / В.И. Соломатов. - 2000. - № 1. – с.28-29.
165. **Соломатов, В. И.** Особенности формирования свойств цементных композиций при различной дисперсности цементов и наполнителей [Текст]/ В.И.Соломатов, О. В. Кононова // . - Сер. Изв. вузов. - 1991. - №8. – с.50-53.

166. **Соломатов, В. И.** Интенсивная технология бетонов [Текст] / В.И.Соломатов, М.К.Тахиров, Шах Мд.Тахер // . - М. : Стройиздат, 1989. -254с.
167. **Суздальцев, О. В.** Терминологии защитно-отделочных и архитектурно-декоративных бетонов нового поколения [Текст]/ О.В.Суздальцев, Р.А. Дрянин, В.И.Калашников // . – 2014. - № 5–6 (27–28). – с. 43–46.
168. **Сычев, М. М.** Образование межзерновых контактов при твердении вяжущих систем [Текст] / М.М.Сычев.: Сб.тр. - Л.: 1975. - с.3-13.
169. Термический анализ минералов и горных пород [Текст] / М-во геологии СССР. Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-т “ВСЕГЕИ”. - Ленинград: Недра, 1974. –399.
170. **Толыпина, Н. М.** К вопросу о взаимодействии цементной матрицы с заполнителями [Текст] / Н.М.Толыпина. – 2016. – № 6-1. – с. 81-85.
171. **Чан Тхи Тху Ха,** Цементный бетон на карбонатном заполнителе и кремнеземсодержащих наполнителях для условий Вьетнама: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.23.05. [Текст] / Чан Тхи Тху Ха. - Москва: 2006. — 203 с.
172. **Черепанов, А. А.** Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ (результаты лабораторных и полупромышленных испытаний) [Текст] / А. А. Черепанов, В. Т. Кардаш // . - 2009. - № 2. – с.98-115.
173. **Чистяков, Б. З.** Использование отходов промышленности в строительстве [Текст] / Б.З. Чистяков. - Лениздат, 1977.
174. **Чулкова, И. Л.** Эффективность использования золы при производстве железобетонных конструкций [Текст]/ И.Л.Чулкова, С.М. Кузнецов // . - 2009. - № 7. – с.15-18.
175. **Федынин, Н. И.** Изготовление высокопрочного мелкозернистого шлакобетона [Текст] / Н.И.Федынин, Г.И. Кинекстуль, М.И. Диамант, Ю.М. Седельницкий // . – Кемерово: Кемеровское книжное изд–во, 1971.

176. **Федюк, Р. С.** Современные способы активации вяжущего и бетонных смесей (обзор) [Текст] / Р.С.Федюк, А.М. Мочалов, В.С. Лесовик. – 2018. - №4 (37).
177. **Ферронская, А. Б.** Производства и применение изделий из ГЦПВ в сельском строительстве Киргизской ССР: Обзорная информация [Текст]/ А.Б.Ферронская, В.Ф. Коровяков, С.В. Лукьянов, Л.С. Креймер // . – Фрунзе: 1973. 15-28 с.
178. **Фисенко, В. А.** Определение и классификация [Текст] / В.А. Фисенко. – Харьков, «Колорит», 2005. - №5. – с.52-56.
179. **Флоров, Ю. Г.** Курс коллоидной химии: поверхностные явления и дисперсные системы [Текст] / Ю.Г.Флоров. – М.: Химия,1988. - 34 с.
180. **Харченко А. И.** Эффективные мелкозернистые бетоны на основе композиционных вяжущих для монолитного домостроения [Текст] / А.И.Харченко, А.К. Дятлов, М.И. Баженов. – 2012. - №5. – с. 353-356.
181. **Урьев, Н. Б.** Высококонцентрированные дисперсные системы [Текст] / Н.Б.Урьев. - М.: Химия, 1980. – 320 с.
182. **Уфимцев, В. М.** Получение попутной минеральной продукции на проблемы обращения с золошлаками энергетики [Текст] / В.М.Уфимцев, В.Я.Путилов, И.В. Путилова, Е.А. Маликова // . -2013. - №1. – С. 7-9 .
183. **Уфимцев, В. М.** Шлаки в составе бетона: новые возможности [Текст] / В.М.Уфимцев, Л.А. Коробейников // . - 2013. - № 1 (78). – с.46-49.
184. **Шестоперов, С. В.** Долговечность бетона [Текст] / С.В.Шестоперов. - М.: Авторанс–издат, 1954.
185. **Шоева, Т. Е.** Мелкозернистые бетоны с использованием механоактивированных зол [Текст]: Автореф.дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук / Т.Е.Шоева. - Новосибирск : 2012. – 54 с.
186. **Щигельски, Т.** Влияние новых технологий сжигания угля на типы и свойства золошлаков [Текст] / Т.Щигельски, Я.Хыцнар // . – 22-23 апр. 2010. - М.: МЭИ, 2010. - С.33-37. – 120 с.

187. **Штефан, Ю. В.** Повышение плотности асфальтобетонов на шлаковых заполнителях [Текст] / Ю.В.Штефан, Б.А. Бондарев // . - Воронеж: ГАСУ. - 2004. - Вып.2. – с.150-153.
188. **Шульце, С. Е.** Влияние химического состава золы-уноса на её реакционную способность [Текст] / С.Е. Шульце, Й.Рикерт // . - 2012. - №1. – с.170-175.
189. **Энхжаргал, Х.** ТЭС на угле как энергопромагрокомплекс. Утилизация золошлаковых отходов [Текст] / Х.Энхжаргал, С.Батмунх, В.В. Саломатов // . – Новосибирск: НГТУ, 2010. – с.183-192.
190. Экологические аспекты и проблемы утилизации и рециклинга золошлаковых отходов тепловых электростанций [Текст] /Н.Н. Ефимов, Е.А. Яценко, В.А. Смолий и др. // – 2011. - №2. – с.40-44.
191. **Элинзон, М. П.** Шлаки [Текст] / М.П.Элинзон. - М.: Госстройиздат, 1959. – 45 с.
192. **Элинзон, М. П.** Топливо содержащие отходы промышленности в производстве строительных материалов [Текст] / М.П.Элинзон, С.Г. Васильков – М.: 1962. – 16 с.
193. **Эмдин, С. В.** Опыт утилизации золошлаковых материалов ОАО “Иркутскэнерго” [Текст] / С.В.Эмдин, В.В.Жабо, Ю.К. Целыковский // . - 2006. - №9. – с.11-13.
194. **Энтин, Э. Б.** Золо ТЭС - сырье для цемента и бетона [Текст] / Э.Б.Энтин, Э. Б. Энтин, Л. С. Нефедова, Н. В. Стржалковская // . – 2012. - №2. – с.40-46.
195. **Энтин, З. Б.** Еще раз о золах - уносе ТЭС для производства цемента [Текст] / З.Б.Энтин, Н.В.Стржалковская // . - 2009. - № 2. – с.106-111.
196. Эффективное использование твердого топлива и переработка золошлаковых отходов ТЭС с применением нанотехнологий [Текст] / Н.Н.Ефимов, А.С. Косарев, Е.А. Яценко и др. // – 2010. - №3. – С.93-102.

197. **Янковский, Л. В.** Рентгено- и дифференциально-термический анализ цементобетонных конструкций после тепловлажной обработки [Текст] / Л.В. Янковский // . – 2012. - №4. – с.1-9.
198. **Ярмолинская, Н. И.** Обоснование целесообразности модификации молекулярно-поверхностных свойств минеральных порошков из отходов дальневосточных ТЭС [Текст] / Н.И.Ярмолинская, А.А.Парфенов, Т.Л. Лазарева // . – Хабаровск: ТОГУ, 2009. - N 9. – с.373-377с.
- 199.<http://dx.doi.org/10.5402/2011/310742>.
200. http://www.ruffnews.ru/novocherkassk/Shlakovye-othody-Novocherkasskoy-GRES-nekuda-budet-devat-uzhe-cherez-2-goda_25757.
201. <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35983>
(дата обращения: 20.12.2018).
202. <http://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/rocktrons-profit-buildinglow-co2-concrete>
203. Aitcin, P. C. High-Performance Concrete [Text] I P.-C. Ai'tcin. - An Imprint of Routledge London and New York. : E & FN SPON. 1998. 591 p.
204. Bellmann, F. Activation of blast furnace slag by a new method [Text] I F. Bellmann, J. Stark II Cement and Concrete Research. 2009. Vol. 39. Iss. 8 - pp. 644-655.
205. Badogiannis, E. Metakaolin as supplementary cementitious material – Optimization of kaolin to metakaolin conversion / E. Badogiannis, G. Kakali, S. Tsivilis // J. Therm. Anal. Calorim. – 2005. – № 81. – P. 457–462.
206. Canadian J. of Civil Engineering. -1987. –Va:14. №5.667- 682.
207. Cement Concrete persearch -1989 –Vol. 18, №16,p. 852-862.
208. Chao, Li A review: The comparison between alkali-activated slag (Si+Ca) and metakaolin (Si+Al) cements [Text] I Chao Li, Henghu Sun, Longtu Li [Text] II Cement and Concrete Research. 2010. Vol. 40 - pp. 1341-1349.
209. Chaunsali, P. Novel Cementitious Binder Incorporating Cement Kiln Dust: Strength and Durability [Text] I P. Chaunsali, S. Peethamparan II ACI Journal Search. 2013. Vol. 110. Iss. 3 -pp. 297-304.

210. Concrete Plant and Production. -1985. –Va. 3 №8. –p. 311-312.
211. Ilich, B.R. Thermal Treatment of Kaolin Clay to Obtain Metakaolin / B.R. Ilich, A.A. Mitrovich, L.R. Milichch // Chem. ind. – 2010. – № 64 (4). – P. 351–356.
212. Haha, M. B. Quantification of the degree of reaction of fly ash / M. Ben Haha, K. De Weerd, B. Lothenbach // Cement and Concrete Research. 2009. Vol. 40. Iss. 11 -pp. 1620-1629.
213. Gutteridge W.A. Filler cement: The effect of the secondary component on the hydration of Portland cement: Part 1. A fine non-hydraulic / W.A. Gutteridge, J.A. Dilziel. 1990. pp. 778-782
214. Kostuch, J.A. High performance concrete incorporating metakaolin – a review / J.A. Kostuch, G.V. Walters, T.R. Jones // Concrete 2000. – 1993. – № 2. – P. 1799–811.
215. Properties of blended cements with thermally activated kaolin / M. Arikan, K. Sobolev, T. Ertun, A. Yeginobali, P. Turker // Constr. Build. Mater. – 2009. – № 23. – P. 62–70.
216. Rahier, H. Influence of the degree of dehydroxylation of kaolinite on the properties of aluminosilicate glasses / H. Rahier, B. Wullaert, B. Van Mele // J. Therm. Anal. Calorim. – 2000. – № 62. – P. 417–427.
217. Sement – Kalk – Cips, -1985. –S.374-378.
218. Shehata M.H. Long-term durability of blended cement against sulfate attack / M.H. Shehata, G. Adhikari, Sh. Radomski. ACI Materials Journal. 2008. pp. 594-602
219. S. P. Guleria and R. K. Dutta, “Effect of addition of tirechips on the unconfined compressive strength of fly ash-lime-gypsum mixture,” Journal of Materials in Civil Engineering. In press.
220. S. P. Guleria and R. K. Dutta, “Tensile strength of fly ash- lime-gypsum composite mixed with treated tyre chips,” International Journal of Geotechnics and Environment, vol. 2, no. 2, pp. 71–87, 2010.

221. Stanton T.E. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate . Proceedings of the American Society of Civil Engineers.-1940. №66.pp.1781-1811
222. Thomas M.D. 50years and still going strong: flyash puts paid to ASR / D.A. Thomas, R.D. Hooton, C. Rogers, B. Fournier / Concrete International. 2012.pp.35-40,
223. Thermal treatment of kaolin: the effect of mineralogy on the pozzolanic activity / G. Kakali, T. Perraki, S. Tsvivilis, E. Badogiannis // Appl. Clay Sci. – 2001. – № 20. – P. 73–80.
224. The effect of dehydroxylation/amorphization degree on pozzolanic activity of kaolinite / A. Shvarzman, K. Kovler, G.S. Grader, G.E. Shter // Cem. Concr. Res. – 2003. – № 33. – P. 405–416.
225. EN 197-1 Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements [Текст]. Central Secretariat: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels 2000 - 32 p.
226. ASTM C618-12a Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete [Текст]. Subcommittee: C09.24. -5 p.
227. Волженский А.В. Смешанные портландцемент повтор- ного помола и бетоны на их основе / А.В.Волженский, Л.Н.Подов. - М.: Госстройиздат,1981. – 107с.
228. Оценка эффективности комбинирования минеральных добавок в мелкозернистом бетоне / А.К. Халюшев, В.В. Прудников, С.А. Стельмах, Е.М. Щербань, М.П. Нажуев. Том 9, №5 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/25TVN517.pdf> (доступ свободный).
229. Толыпина, Н.М. Повышение коррозионной стойкости бетонов путем рационального выбора вяжущего и заполнителей : диссертация доктора технических наук: 05.23.05 / Н.М.Толыпина. - Белгород: 2014.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

УТВЕРЖДАЮ
Директор ЗАО
«Кум-Шагыл»
Попов В.В.



2019 г.

АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Кульшиковой Сауле Тюякбайевны на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия на тему: «Оптимизация рецептуры и свойств композиционных вяжущих веществ и мелкозернистых бетонов с использованием золошлаковых отходов»

Комиссия в лице председателя, директора ЗАО «Кум-Шагыл» Попова В.В. и членов комиссии: главного технолога ЗАО «Кум-Шагыл» Дилдемуратова К. Д., доцента кафедры «Производство, экспертиза строительных материалов, изделий и конструкций» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им.Н.Исанова, к.т.н. Джусуповой М.А. свидетельствуют о том, что при разработке технологии производства композиционных вяжущих веществ, с использованием золы гидроудаления, в качестве наполнителя были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Кульшиковой С.Т.:

- возможность использования золы гидроудаления в качестве наполнителя в цемент при производстве композиционного цементнозолного вяжущего;
- показатели физико-механических свойств цементозольного вяжущего в зависимости от количества наполнителя – золы гидроудаления и времени активации.

Реализация материалов диссертации Кульшиковой С.Т. позволила:

- разработать технологию производства композиционного цементнозолного вяжущего в условиях ЗАО «Кум-Шагыл».
- рассчитать технико-экономические характеристики производства цементнозолного композиционного вяжущего вещества

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- при технико-экономическом обосновании использования золы гидроудаления для производства цементозольного вяжущего.
- при разработке технологической карты производства композиционного цементнозолного вяжущего.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- получены математические модели основных свойств цементнозолного вяжущего: сроки схватывания, прочность на изгиб и сжатие после тепловлажностной обработки и 28 суточном твердении в нормальных условиях. При наполнении цемента 10-30% золой гидроудаления и последующей активацией в течение 1-1,5 часа композиционное цементнозолное вяжущее имеет равнозначные прочностные характеристики с эталонным цементом ПЦ 400 Д20.

- экономический эффект для состава цементнозолного вяжущего при соотношении компонентов, % (Ц : Зола ГУ = 70:30) от производства 1 тонны цементнозолного вяжущего составил 342,23 сом . При условии выпуска ЦЗВ 10 000т в год экономический эффект составит 3 422 300 сом.

Председатель комиссии

Попов В.В.

Члены комиссии:

Джусупова М.А.

Дилдемуратов К.Д.



АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Кульшиковой Сауле Тюякбайевны на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия на тему: «Оптимизация рецептуры и свойств композиционных вяжущих веществ и мелкозернистых бетонов с использованием золошлаковых отходов»

Комиссия в лице председателя, директора ЗАО «Кум-Шагыл» Попова В.В. и членов комиссии: главного технолога ЗАО «Кум-Шагыл» Дилдемуратова К. Д., доцента кафедры «Производство, экспертиза строительных материалов, изделий и конструкций» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им.Н.Исанова, к.т.н. Джусуповой М.А. свидетельствуют о том, что при разработке технологии производства композиционных вяжущих веществ с использованием золошлаковой смеси в качестве наполнителя были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Кульшиковой С.Т.:

- возможность использования золошлаковой смеси в качестве наполнителя в цемент при производстве композиционного цементнозолошлакового вяжущего;
- показатели физико-механических свойств цементозолошлакового вяжущего в зависимости от количества наполнителя - золошлаковой смеси и времени активации.

Реализация материалов диссертации Кульшиковой С.Т. позволила:

- разработать технологию производства композиционного цементнозолошлакового вяжущего в условиях ЗАО «Кум-Шагыл».
- рассчитать технико-экономические характеристики производства цементнозолошлакового композиционного вяжущего вещества

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- при технико-экономическом обосновании использования золошлаковой смеси для производства цементозолошлакового вяжущего.
- при разработке технологической карты производства композиционного цементнозолошлакового вяжущего.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- получены математические модели основных свойств цементнозолошлакового вяжущего: сроки схватывания, прочность на изгиб и сжатие после тепловлажностной обработки и 28 суточном твердении в нормальных условиях. При наполнении цемента 10-30% золошлаковой смесью и последующей активацией в течении 1-1,5 часа композиционное цементнозолошлаковое вяжущее имеет равнозначные прочностные характеристики с эталонным цементом ПЦ 400 Д20.

- экономический эффект для состава цементнозолошлакового вяжущего при соотношении компонентов, % (Ц:ЗШС = 80:20) от производства 1 тонны цементнозольного вяжущего составил 383,697 сом. При условии выпуска ЦЗШВ 10 000т в год экономический эффект составит 3 836 970 сом.

Председатель комиссии

В.В. Попов
Попов В.В.

Члены комиссии:

М.А. Джусупова
Джусупова М.А.

К.Д. Дилдемуратов
Дилдемуратов К. Д.

УТВЕРЖДАЮ
Директор ЗАО
«Кум-Шагыл»
Попов В.В.
«28» _____ 2019 г.

АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Кульшиковой Сауле Тюякбайевны на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия на тему: «Оптимизация рецептуры и свойств композиционных вяжущих веществ и мелкозернистых бетонов с использованием золошлаковых отходов»

Комиссия в лице председателя, директора ЗАО «Кум-Шагыл» Попова В.В. и членов комиссии: главного технолога ЗАО «Кум-Шагыл» Дилдемуратова К. Д., доцента кафедры «Производство, экспертиза строительных материалов, изделий и конструкций» Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им.Н.Исанова, к.т.н. Джусуповой М.А. свидетельствуют о том, что при разработке технологии производства стеновых блоков из мелкозернистого бетона, с использованием цементнозолошлакового вяжущего вещества и мелкого заполнителя из топливного шлака были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Кульшиковой С.Т.:

- возможность использования композиционного цементнозолошлакового вяжущего и мелкого заполнителя из топливного шлака при производстве стеновых блоков для малоэтажного строительства;

- зависимости основных физико-механических характеристик мелкозернистых бетонов от процентного содержания в композиционном вяжущем наполнителя из золошлаковой смеси и соотношения его с мелким заполнителем из топливного шлака разных фракций.

Реализация материалов диссертации Кульшиковой С.Т. позволила:

- разработать технологическую карту на производство стеновых блоков изготовленных из композиционного цементнозолошлакового вяжущего и мелкого заполнителя из шлака в условиях ЗАО «Кум-Шагыл».

- рассчитать технико-экономические характеристики производства стеновых блоков из мелкозернистого бетона на цементнозолошлаковом вяжущем и мелком заполнителе из топливного шлака.

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

- при технико-экономическом обосновании использования золошлакового вяжущего вещества и топливного шлака для производства стеновых блоков из мелкозернистого бетона;

- при разработке технологической карты на производство стеновых блоков из цементнозолошлакового вяжущего и мелкого заполнителя из топливного шлака.

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

- стеновые блоки изготовленные из мелкозернистого бетона при соотношении 1:3 цементнозолошлаковое вяжущее:мелкий заполнитель топливный шлак соответствовали классу В-15 (М200) и имели плотность 1840 кг/м³, Мрз 75, $\lambda=0,67$ Вт/м×К и отвечают требованиям ГОСТ 6133-99 «Камни бетонные стеновые».

- при расходе композиционного вяжущего ЦЗШВ – 460 кг и топливного шлака (фракций 0-5; 5-10 мм) 1380 кг экономический эффект при изготовлении 10 000 штук условного стенового блока из мелкозернистого бетона В-15 (М200) экономическая эффективность составит 29 600 сом.

Председатель комиссии

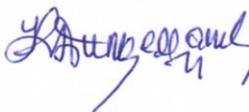


Попов В.В.

Члены комиссии:



Джусупова М.А.



Дилдемуратов К.Д.

Утверждаю:

Ректор Жезказганского университета имени О.А. Байконурова
д.т.н. профессор

А.А. Такишов
.2019г.

М.П.

АКТ

о реализации научных результатов, полученных в диссертации Кульшиковой Сауле Тюякбайевны на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 Строительные материалы и изделия на тему: «Оптимизация рецептуры и свойств мелкозернистых бетонов на основе отходов топливно-энергетической промышленности»

Комиссия в составе:

Председателя: Укибаева Г.К. проректор по учебной и воспитательной работе Жезказганского университета имени О.А. Байконурова

членов комиссии: Джусуповой М.А. - к.т.н., доцент кафедры «Производство, экспертиза строительных материалов, изделий и конструкций» Кыргызского государственного университета строительства транспорта и архитектуры имени Н.Исанова; Шынбергеновой К.Т. к.т.н., директора горно-технологического института; Хамитовой Г.Ж. к.т.н., заведующего кафедрой «Технологические машины и строительство» свидетельствует о том, что при разработке составов композиционного вяжущего и мелкозернистых бетонов были реализованы следующие научные результаты, полученные в кандидатской диссертации Кульшиковой Сауле Тюякбайевны на тему: «Оптимизация рецептуры и свойств мелкозернистых бетонов на основе отходов топливно-энергетической промышленности»:

1. Получены композиционные вяжущие вещества на различных отходах ТЭС (зола гидроудаления и золошлаковая смесь).
2. Получены рациональные составы мелкого заполнителя из топливного шлака, полностью или частично заменившие природный песок для мелкозернистого бетона.

3. Разработаны и реализованы составы МЗБ на основе композиционных вяжущих веществах, наполненных ЗШО и мелком заполнителе из топливного шлака.
4. Рассчитаны основные технико-экономические показатели производства МЗБ их отходов ТЭС.

Реализация материалов диссертации (Кульшикова С.Т.) позволила:

использовать и внедрить результаты научных исследований в учебном процессе при изучении дисциплины «Мелкозернистый бетон на основе отходов» на кафедре «Технологические машины и строительство» горно-технологического института Жезказганского университета имени О.А. Байконурова .

Материалы диссертации использованы в следующих документах, материалах и разработках:

Рабочий учебный план Модульной образовательной программы 6В07301 – Строительство; степень: бакалавр техники и технологий; форма обучения: очная для групп: Стр-19-1, Стр-19-2уск, Стр-19-1уск, Стр-19-2 (в/в)

По результатам реализации получен следующий положительный эффект:

повышения уровня знаний студентов модульной образовательной программы 6В07301 «Строительство».

Председатель комиссии:



Укибаева Г.К.

Члены комиссии:



Джусупова М.А.



Шынбергенова К.Т.



Хамитова Г.Ж.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
 ДЕПАРТАМЕНТ ПРОФИЛАКТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ И ГОСУДАРСТВЕННОГО
 САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО НАДЗОРА
 ЦЕНТР ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ
 АККРЕДИТОВАННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ



Адрес: 720033, г. Бишкек, ул. Фрунзе, 535

Телефон +996 (312) 32-32-01
 +996 (312) 32-31-95

Факс +996 (312) 32-32-14

ЛАБОРАТОРИЯ РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТДЕЛА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
 наименование лаборатории

АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ № КС-17/КПА.ИЛ.062. Срок действия до 29.04.2023
 сведения об аккредитации

ПРОТОКОЛ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ образцов строительных материалов, пищевых продуктов, воды (нужное подчеркнуть)

№ 302/С от « 14 » ноября 2019 г.

1. Наименование предприятия, организации (заявитель): КГУСТА им. Н. Исанова
 письмо вход. № 2189 от 28.10.19г.
2. Наименование образца (пробы): Зола, проба №1
3. Изготовитель: КР Бишкекская ТЭЦ, п-н жилищного «Бакай-Ата»
4. Дата получения образца: 28.10.2019г.
5. Дата проведения испытаний: с « 28 » 10 2019г по « 14 » 11 2019г.
6. Средство измерений: Радиометр РУГ-91 «АДАНИ»
7. Сведения о государственной поверке: Сертификат № ВА-17-04-32724
 Действителен до 25.12.2019г.

ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ (ср. изм.)	РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ, Бк/кг	МД на методы ИСПЫТАНИЙ
Содержание ЕРН	^{40}K 95,8±98,0	МВИ 115-94 «Определение по гамма-излучению удельной активности радионуклидов естественного происхождения радия-226, тория-232, калия-40 и суммарной эффективной удельной активности в строительных материалах с помощью радиометра РУГ-91М «АДАНИ»»
	^{226}Ra 61,8±9,6	
	^{232}Th 108,2±7,6	
	Aэфф 210,0±16,6	

Испытания проводил: *[Подпись]* Э.В. Юдакова Одобряющий: *[Подпись]* М.И. Стамова
 должность подпись Ф.И.О. должность подпись Ф.И.О.
 конец документа

Заключение: по содержанию ЕРН исследованная проба золы относится к I классу строительных материалов. Зола может использоваться в качестве сырья для производства строительных материалов в соответствии с ГОСТом 30108-94 «Материалы и изделия строительные». Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов и Законом Кыргызской Республики Технический регламент «О радиационной безопасности» от 29.11.11. № 224.

Начальник ОРБ

Н.Т. Казыбаев

ПРИМЕЧАНИЕ: ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ КАСАЕТСЯ ТОЛЬКО ОБРАЗЦОВ, ПОДВЕРГНУТЫХ ИСПЫТАНИЮ

стр.1 из 1



МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
 ДЕПАРТАМЕНТ ПРОФИЛАКТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ И ГОСУДАРСТВЕННОГО
 САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО НАДЗОРА
 ЦЕНТР ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ
 АККРЕДИТИРОВАННАЯ ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ



Адрес: 720033, г. Бишкек, ул. Фрунзе, 535

Телефон +996 (312) 32-32-01

+996 (312) 32-31-95

Факс +996 (312) 32-32-14

ЛАБОРАТОРИЯ РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОТДЕЛА РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
 наименование лаборатории

АТТЕСТАТ АККРЕДИТАЦИИ № КС 417/КПА.И.Л.062. Срок действия до 29.04.2023
 сведения об аккредитации

ПРОТОКОЛ
РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
 образцов строительных материалов, пищевых продуктов, воды
 (нужное подчеркнуть)

№ 303/С от « 14 » ноября 2019 г.

1. Наименование предприятия, организации (заявитель): КГУСТА им. Н. Исанова
 письмо вход № 2189 от 28.10.19г.
2. Наименование образца (пробы): Зола, проба №2
3. Изготовитель: КР Бишкекская ТЭЦ, р-н жилмассива «Бакай-Ата»
4. Дата получения образца: 28.10.2019г.
5. Дата проведения испытаний: с « 28 » 10 2019г. по « 14 » 11 2019г.
6. Средство измерений: Радиометр РУГ-91 «АДАНИ»
7. Сведения о государственной поверке: Сертификат № ВА-17-04-32724
 Действителен до 25.12.2019г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ.

ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ (с/е. назм.)	РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ, Беккер	ИД на МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ
Содержание ЕРН:	⁴⁰ K 86,4±80,8	МВИ 115-94 «Определение по гамма-излучению удельной активности радионуклидов естественного происхождения радия-226, тория-232, калия-40 и суммарной эффективной удельной активности в строительных материалах с помощью радиометра РУГ-91М «АДАНИ»
	²²⁶ Ra 80,6±104	
	²³² Th 125,2±8,4	
	A _{эфф} 252,0±16,6	

Испытания проводил:
 инженер по ДИРИ

Э.В. Юлакова
 Э.В. Юлакова
 должность подпись ф.И.О.

Одобривший:
 техник-дозиметрист

М.И. Стамова
 М.И. Стамова
 должность подпись ф.И.О.
 конец документа

Заключение: по содержанию ЕРН исследованная проба золы относится к I классу строительных материалов. Зола может использоваться в качестве сырья для производства строительных материалов в соответствии с ИОС Том 30108-94 «Материалы и изделия строительные». Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов и Законом Кыргызской Республики Технический регламент «О радиационной безопасности» от 29.11.14. № 224.

Начальник ОРБ

Н.Т. Казыбаев

ПРИМЕЧАНИЕ: протокол испытаний касается только образцов, подвергнутых испытаниям.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

УТВЕРЖДАЮ

Директор ЗАО «Кум-Шагыл.»

Попов В. В.

«28» 10 2019



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

по производству цементнозолных композиционных

вяжущих веществ (ЦЗКВ).

КТП 00000001 – 001- 01 - 19

Исполнители:

к.т.н., доц. Джусупова М.А.

аспирант Кульшикова С.Т.

«28» 10 2019



УТВЕРЖДАЮ

Директор ЗАО «Кум-Шагыл.»

Попов В. В.

« 28 » 10 2019

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА
по производству стеновых блоков на основе цементнозолошлаковых
композиционных вяжущих веществ
КТП 00000001 – 001 – 02 - 19

Исполнители:

к.т.н., доц. Джусупова М.А. 

аспирант Кульшикова С.Т. 

« 28 » 10 2019

Бишкек – 2019