

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Цветных металлов и материаловедения
институт
Композиционных материалов и физико-химия металлургических процессов
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ А.Ф. Шиманский

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 2022 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Ячеистые бетоны на основе золошлаковых отходов от сжигания угля
тема

22.04.01 Материаловедение и технологии материалов

код и наименование направления

22.04.01.05 Утилизация и переработка отходов потребления и промышленного
производства

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель

подпись, дата

доц., канд.техн.наук

должность, ученая степень

Р.Г. Еромасов

инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

Е. С. Коваль

инициалы, фамилия

Рецензент

подпись, дата

нач. лаборатории

должность, ученая степень

А.Г. Сбитнев

инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Продолжение титульного листа магистерской работы по теме «Ячеистые бетоны на основе золошлаковых отходов от сжигания угля»

Консультанты по
разделам:

Литературный обзор

наименование раздела

подпись, дата

Р.Г. Еромасов

инициалы, фамилия

Методическая часть

наименование раздела

подпись, дата

Р.Г. Еромасов

инициалы, фамилия

Экспериментальная часть

наименование раздела

подпись, дата

Р.Г. Еромасов

инициалы, фамилия

Охрана труда и окружающей среды

наименование раздела

подпись, дата

Р.Г. Еромасов

инициалы, фамилия

Экономическая часть

наименование раздела

подпись, дата

Р.Г. Еромасов

инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

Р.Г. Еромасов

инициалы, фамилия

Студенту Коваль Елене Сергеевне

фамилия, имя, отчество

Группа ЦМ 20-26М

номер

Направление (специальность) 22.04.01

код

Материаловедение и технологии материалов

наименование направления

Тема выпускной квалификационной работы «Ячеистые бетоны на основе золошлаковых отходов от сжигания угля»

Утверждена приказом по университету № 4646/с от 25.03.2022 г.

Руководитель ВКР Р.Г. Еромасов, канд. техн. наук, доцент каф. «Композиционные материалы и физико-химия металлургических процессов»

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР: патентно-информационный поиск, результаты НИР, результаты преддипломной практики _____

Перечень разделов ВКР: литературный обзор, методическая часть, экспериментальная часть, охрана труда и окружающей среды, экономическая часть.

Перечень графического материала презентация по теме выпускной квалификационной работы

Руководитель ВКР

подпись

Р.Г. Еромасов

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

Е. С. Коваль

инициалы и фамилия студента

« ____ » _____ 20__ г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Ячеистые бетоны на основе золошлаковых отходов от сжигания угля» содержит 92 страницы текстового документа, 47 использованных источников, 10 рисунков, 23 таблицы.

ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ, ЗОЛОШЛАКОВЫЕ ОТХОДЫ, ТВЕРДЕНИЕ, ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ, ПРОЧНОСТЬ, ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ, НАНОВОЛОКНА ОКСИДА АЛЮМИНИЯ.

Объектом исследования являются золошлаковые отходы от сжигания угля для производства ячеистых бетонов.

Целью данной работы является разработка составов ячеистых бетонов с использованием золошлаковых отходов.

Для достижения поставленной цели предполагается решить следующие задачи:

- проведение патентно-информационного поиска в области получения ячеистых бетонов;
- анализ химического, минералогического состава золошлаковых отходов;
- разработка состава ячеистых бетонов с использованием золошлаковых отходов в качестве заполнителя и комплексного вяжущего;
- разработка составов композиционного дисперсно-упрочненного материала с введением нановолокон оксида алюминия;
- исследование физико-механических свойств экспериментальных образцов.

Установлено, что с увеличением содержания нановолокон оксида алюминия в составе бетонов от 0 до 0,9 масс. %, прочность при сжатии образцов на 28 суток твердения увеличивается от 5,4 МПа до 6,2 МПа (на 15 %), при этом плотность бетонов уменьшается с 1310 до 1200 кг/м³.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 Литературный обзор	10
1.1 Общие понятия и классификация ячеистых бетонов	10
1.2 Сырьевые материалы для получения ячеистых бетонов	13
1.3 Технология изготовления ячеистых бетонов	17
1.3.1 Физико-химические процессы формирования пористой структуры ячеистого бетона	17
1.3.2 Теоретические основы процессов твердения минеральных вяжущих веществ	18
1.3.3 Технологические операции производства ячеистых бетонов	20
1.4 Отечественный и зарубежный опыт производства ячеистых бетонов на основе золошлаковых отходов.....	23
1.5 Патентный поиск в области получения ячеистых бетонов на основе золошлаковых отходов	28
2 Методическая часть	32
2.1 Получение лабораторных образцов	32
2.1.1 Подготовка и исследование исходных сырьевых материалов	32
2.1.2 Дозировка и смешивание компонентов	34
2.1.3 Формирование пористой структуры и формирование образцов	35
2.1.4 Определение физико-механических свойств экспериментальных образцов	36
2.1.5 Исследование структуры	39
2.1.6 Планирование эксперимента. Полный факторный эксперимент.....	40
3 Экспериментальная часть.....	44
3.1 Физико-химический состав золошлаковых отходов	44
3.2 Характеристика основных материалов для получения ячеистых бетонов	47
3.3 Разработка состава газобетона с использованием золошлаковых отходов	50
3.4 Оптимизация технологических параметров получения газобетона	53
3.4 Обработка результатов исследования.....	56

3.5 Модифицирование бетонов нановолокнами оксида алюминия.....	57
4 Охрана труда и окружающей среды.....	60
4.1 Характеристика работы.....	60
4.2 Анализ условий проведения эксперимента.....	61
4.3 Физико-химическая и токсикологическая характеристики применяемых материалов	62
4.4 Санитарно – технические требования к помещениям.....	63
4.4.1 Параметры световой среды в помещении	63
4.4.1.1 Расчет естественного освещения.....	64
4.4.1.2 Расчет искусственного освещения	66
4.4.2 Параметры микроклимата помещений	67
4.4.3 Воздухообмен в помещении	68
4.4.4 Мероприятия, направленные на снижение воздействия вредных и опасных факторов	70
4.5 Соответствие требованиям пожарной безопасности.....	71
4.6. Соответствие требованиям электробезопасности	72
4.7 Охрана окружающей среды	74
5 Экономическая часть	76
5.1 Смета затрат на выполнение работы.....	76
5.1.1 Материальные расходы	76
5.1.2 Расходы на оплату труда	77
5.1.3 Отчисления на социальные нужды	77
5.1.4 Сумма начисленной амортизации	78
5.1.5 Прочие расходы.....	78
5.1.6 Общая сумма затрат.....	78
5.2 Оценка экономической эффективности результатов работы.....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	82
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	83

ВВЕДЕНИЕ

При возведении современных зданий и сооружений необходимо использовать материалы с высокими эксплуатационными свойствами. Основным материалом преимущественно является бетон. Его качество зависит от используемых материалов, свойства которых должны удовлетворять соответствующим стандартам и техническим условиям, обеспечивать заданный класс прочности и другие физико-механические характеристики. При использовании в бетонных смесях песка заданная прочность бетона может быть обеспечена комплексным вяжущим, состоящим из нормативного количества цемента и тонкодисперсных минеральных добавок, в качестве которых рекомендуются тонкодисперсный порошок из силикатного кирпича, зола, сажа, а также смесь сажи с кварцевым песком.

Для выполнения некоторых работ технически возможно и экономически целесообразно использование вяжущих и бетонов на основе отходов теплоэнергетической промышленности. В Российской Федерации действует около 200 теплоэлектростанций (ТЭС). Энергосистема Красноярского края является крупнейшей, где эксплуатируются 18 ТЭС, работающих на угольном топливе. Годовой объем выработки золошлаковых отходов (ЗШО) в России составляет 22 млн тонн, из них 3 млн тонн используются для дальнейшей переработки в стройиндустрии, дорожном строительстве и других отраслях промышленности, остальная часть хранится в золоотвалах, следовательно, ЗШО накапливаются в больших объемах, это оказывает влияние на окружающую среду.

Разработка составов строительных материалов на основе комплексного использования материалов обусловлена экологическим фактором – ухудшением экологической ситуации в результате накопления промышленных отходов.

В настоящее время в качестве минерального сырья применяют техногенные материалы с последующим изготовлением новых видов

высококачественной продукции. В качестве основных направлений применения ЗШО выделяют: производство цемента, кирпича, изготовление керамических материалов, при производстве ячеистого бетона, пористых заполнителей. Производство строительных материалов предусматривает возможность применения ЗШО в исходном сырье порядка 25%, при этом себестоимость производства строительных материалов при использовании золошлаков снижается на 12-15%.

Целью данной работы является разработка составов ячеистых бетонов с использованием золошлаковых отходов.

Для достижения поставленной цели предполагается решить следующие задачи:

- проведение патентно-информационного поиска в области получения ячеистых бетонов;
- анализ химического, минералогического состава золошлаковых отходов;
- разработка состава ячеистых бетонов с использованием золошлаковых отходов в качестве заполнителя и комплексного вяжущего;
- разработка составов композиционного дисперсно-упрочненного материала с введением нановолокон оксида алюминия;
- исследование физико-механических свойств экспериментальных образцов.

Научная новизна работы заключается в установлении влияния на прочность бетона нановолокон оксида алюминия, вводимых в диапазоне 0.1–0.9 масс. %. Установлено, что прочность образцов увеличивается на 15%.

1 Литературный обзор

1.1 Общие понятия и классификация ячеистых бетонов

Ячеистые бетоны являются разновидностью легких бетонов с равномерно распределенными порами (до 85% от общего объема бетона), получаемые путем перемешивания смеси вяжущего компонента, заполнителя, воды и порообразователя с последующим формованием и твердением. [1]

Изделия из ячеистого бетона получили широкое применение в строительном производстве, а именно при возведении конструкций жилых и промышленных зданий, а также в качестве теплоизоляционных изделий. [2] Строительные материалы из ячеистых бетонов по структуре, свойствам и способам получения превосходят аналогичные материалы; по эксплуатационным свойствам являются универсальными. [3]

Данные материалы имеют ценные свойства: низкую среднюю плотность (400–700 кг/м³), низкую теплопроводность (0,15–0,25 Вт/(м×°C)), относительно высокую прочность до 4 МПа, повышенную паропроницаемость, высокую морозостойкость, достигающую 50–100 циклов переменного замораживания и оттаивания. [4; 5]

Классификация ячеистых бетонов осуществляется согласно ГОСТ 25485-2019. Бетоны ячеистые. Общие технические условия. [6] Они классифицируются по следующим признакам и параметрам:

- функциональному назначению;
- способу порообразования;
- виду вяжущего;
- виду кремнеземистого компонента;
- способу твердения.

Классификация ячеистых бетонов в зависимости от *средней плотности и функционального назначения* представлена в таблице 1.1.1. [2]

Таблица 1.1.1 – Классификация ячеистых бетонов в зависимости от средней плотности и функционального назначения

Вид бетона	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
Теплоизоляционный	300 – 500	0,4 – 1,2
Теплоизоляционно-конструкционный	500 – 800	1,2 – 2,5
Конструкционный	800 – 1200	2,5 – 15,0

Теплоизоляционные бетоны применяются в качестве утеплителя. Он обладает низкой плотностью, высоким коэффициентом теплопроводности. При возведении стен не используется, так как его несущая способность исключает возможность выдержать какие-либо нагрузки за исключением собственного веса.

Теплоизоляционно-конструкционный бетон является более прочным. Его применяют при возведении стен и перегородок. При этом способность к сохранению тепла у него понижается с ростом плотности.

Конструкционный ячеистый бетон является наиболее прочным. Характеризуется высокой плотностью (1000–1200 кг/м³), высоким коэффициентом теплопроводности. Применяется при возведении зданий высотой до 12 метров в качестве несущих элементов конструкций. [1; 2]

Различают следующие *способы порообразования* ячеистых бетонов: химический (газобетоны, газосиликаты, газошлакобетоны, газозолобетоны и др.); механический (пенобетоны, пеносиликаты, шлакощелочные пенобетоны, пенозолобетоны и др.); механохимический (пеногазобетоны); физический.

Химический способ заключается в газообразовании за счет химических реакций между исходными компонентами при совмещении реакции газовыделения с требуемой пластической вязкостью смеси и последующим ее твердением. Взаимодействие между газообразователем (алюминиевой пудрой) и гидроксидом кальция Ca(OH)₂ при получении газобетона протекает по реакции:



При таком способе поризации получают изделия из газобетона, газогипса,

газокерамики.

Механический способ основан на введении в формовочную массу технической пены, их перемешивании и последующем затвердевании смеси. Таким способом получают пенобетон, пеногипс, пенокерамику. Технология производства пенобетонных изделий реализуется двумя способами: для первого характерно получение технической пены, растворной части и пенобетонной смеси при обычном атмосферном давлении; другая протекает при избыточном давлении 0,1–0,5 МПа, при этом в одном агрегате совмещаются функции смесителя и пневмокамерного насоса.

Механохимический способ образования ячеистых бетонов характеризуется тем, что на первом этапе формовочная смесь поризуется за счет введения в структуру пены, далее в массе создаются крупные ячеистые поры.

Физический способ порообразования в системе «раствор–газ» основан на принципе разряжения при использовании вакуум-колпака в технологии ячеистых бетонов.

По виду вяжущего компонента ячеистые бетоны подразделяются на: цементные (содержат цемент в количестве не менее 50%); известковые (состоят из известки-кипелки в количестве до 50%, могут содержать гипс, различные добавки цемента или шлака в количестве не более 15%); смешанные (в составе содержат цемент в количестве 15-50%, а также известь и шлак); зольные (содержат золы в количестве не более 50%); шлаковые (содержат шлак в количестве не менее 50%).

По виду кремнеземистого компонента выделяют ячеистые бетоны на природном песке, золах, вторичных кремнеземистых продуктах промышленности.

По способу твердения ячеистые бетоны классифицируются на автоклавные и неавтоклавные. В автоклавных бетонах процессы твердения происходят при повышенной температуре 170-190 °С и давлении

паровоздушной среды 0,8-1,2 МПа; неавтоклавные бетоны твердеют в нормально-влажностных условиях в течении 28 суток.

1.2 Сырьевые материалы для получения ячеистых бетонов

Для производства ячеистых бетонов сырьевыми материалами являются: кремниземистый компонент (кварцевый песок, золы ТЭЦ, шлаки, шламы, измельченные горные породы и т.д), вяжущие вещества (портландцемент, известь, гипс), порообразующий агент и специальные корректирующие добавки. [2]

Вяжущие вещества.

Данный компонент выбирают в зависимости от условий твердения и проектной прочности изделий. Применяют в качестве вяжущих веществ: портландцемент, известь негашеная кальциевая, смешанное, высокоосное зольное и сульфатное.

В материалах неавтоклавного твердения применяется портландцемент марки не ниже 400, который соответствует требованиям ГОСТ 31108-2016. «Цементы общестроительные. Технические условия». [7] Рекомендуется использовать алитовый портландцемент, содержащий в составе не менее 50 % трехкальциевого силиката ($3\text{CaO}\times\text{SiO}_2$). Для обеспечения более быстрого набора структурной прочности поризованной ячеистобетонной массы используют вяжущее низкой водопотребности (ВНВ). Для автоклавных силикатных изделий в качестве основного вяжущего применяется строительная известь воздушного твердения, отвечающая требованиям ГОСТ 9179 – 2018 «Известь строительная. Технические условия». [8] Влажность гидратной извести не должна быть более 5 %. Рекомендуется использовать негашёную известь-кипелку не менее 2-го сорта с содержанием активных CaO и MgO 80 %, не погасившихся частиц не более 11 % и с дисперсностью менее 0,2 мм. В этом случае при приготовлении растворной смеси для получения ячеистобетонной массы выделяется большое количество теплоты, что способствует процессу порообразования, предохранению оседания газонасыщенной массы до ее

затвердевания и повышению прочности готовых изделий ячеистой структуры.

Смешанным вяжущим является цементно-известковое на основе цемента и извести, оно должно соответствовать требованиям, указанным выше.

Сульфатное вяжущее – обычный строительный гипс по ГОСТ 125 – 2018. «Вяжущие гипсовые. Технические условия» [9] с добавкой 5% тонкомолотого (удельная поверхность 2000 – 3000 см²/г) кристаллического карбоната кальция, мрамора и т.п.

При производстве автоклавных ячеистых бетонов возможно использование известково-цементных или золоцементных вяжущих, марка последних может быть невысокой, т.к. конечная прочность поробетона после автоклавной обработки на цементах различных марок практически одинаково.

Кремнеземистый компонент.

Большое влияние на качество ячеистых бетонов оказывают химический состав, дисперсность и характер поверхности частиц кремнеземистого компонента, а также содержание в нем различных примесей. Чем больше содержится в кремнеземистом компоненте кремнезема, больше суммарная поверхность и шероховатость его зерен, тем полнее происходит химическое взаимодействие кремнезема с вяжущим или продуктами его гидратации при температуре более 100° С и тем выше прочность бетона. [1; 2]

В качестве кремнеземистого компонента применяются: золы ТЭС, кварцевый песок, маршаллит, трепел, нефелиновый шлам.

Применение кварцевого песка осуществляется в соответствии с ГОСТ 8736 – 2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». [10] Природные кварцевые пески с содержанием кремнезема не менее 90 масс. %, полностью или частично молотые и только в отдельных случаях тонкодисперсные немолотые. В немолотом песке допускается: слюды – не более 0,5 масс. %, глины и ила – не более 3 масс. %, если глинистые частицы представлены минералами с устойчивой кристаллической решеткой (типа каолинита), и не более 1 масс. %, если они содержат минералы с расширяющейся кристаллической решеткой (типа монтмориллонита).

Применение золы-уноса, полученной при сжигании бурых и каменных углей, осуществляется в соответствии с ГОСТ 25818-2017. «Зола-уноса тепловых электростанций для бетонов». [11] Зола-унос от сжигания бурых и каменных углей с удельной поверхностью 3000 – 5000 см²/г должна содержать не менее 50 масс. % стекловидных и оплавленных частиц; п.п.п. для золы бурых углей – не более 3 масс. % и для золы каменноугольных углей – 5 масс. %, набухание в воде – не более 5 масс. %. Образцы из цементно-золяного раствора состава 1:3 должны выдерживать стандартные испытания на равномерность изменения объема. При неудовлетворительном зерновом составе золы в первую очередь производят отсев крупных частиц. Если этого оказывается недостаточно, то прибегают к ее помолу. Зола-уноса рекомендуется использовать в качестве кремнеземистого компонента в безавтоклавных бетонах.

Маршаллит – рыхлый природный материал с объемной массой в сухом состоянии 1100 кг/м³, содержащий свыше 85 масс. % кремнезема в виде мелкозернистого кварца. В маршаллите имеется около 60 масс. % частиц размером меньше 0,01 мм и около 25 масс. % – размером 0,02–0,06 мм. Содержание в маршаллите до 2 масс. % (от массы бетона) соединений мышьяка не только не оказывает вредного влияния на качество бетона, но и ускоряет его твердение и повышает атмосферостойкость.

Трепел – тонкодисперсная порода осадочного происхождения, содержащая свыше 75 масс. % аморфного кремнезема с размерами зерен 0,002–0,005 мм.

Нефелиновый шлам – отходы алюминиевой промышленности.

Порообразователи.

В технологии образования ячеистых бетонов применяют газообразователи и пенообразователи.

В качестве газообразователей при производстве газобетонных изделий применяется алюминиевая пудра в соответствии с ГОСТ 5494-95. «Пудра алюминиевая. Технические условия». [12] Она характеризуется содержанием

активного алюминия 80%. Применение алюминиевой пудры должно соответствовать требованиям по дисперсности (процесс протекания газообразования связан дисперсностью в ячеистой смеси, которая составляет 4600-6000 см²/г), также максимальное выделение водорода наблюдается при температуре смеси 30-40°С. Пергидроль Н₂О₂, газопасты ГБП и комплексный газообразователь, которые представляют смесь алюминиевой пудры и дисперсного ферросилиция, применяют в качестве газообразователей.

При производстве ячеистых бетонов применяют пенообразователи на разных основах: костного клея, в соответствии с ГОСТ 2067-93. «Клей костный. Технические условия», [13] мездрового клея в соответствии с ГОСТ 3252. «Клей мездровый. Технические условия», сосновой канифоли в соответствии с ГОСТ 19113-84. «Канифоль сосновая. Технические условия», едкого технического натра в соответствии с ГОСТ 2263-79. «Натр едкий технический. Технические условия», скрубберной пасты в соответствии с ТУ 38-107101. «Скрубберная паста «СП» Добавка к бетонам и строительным растворам».

Специальные добавки.

Введение добавок на основе суперпластификаторов является эффективным способом совершенствования структуры и свойств легких бетонов. Высокая дисперсность сырьевых материалов, применяемых для изготовления ячеистых бетонов, позволяет наиболее полно реализовать пластифицирующий эффект по сравнению с тяжелыми бетонами.

Применяют добавки в бетон для увеличения прочности. Одним из видов присадок комплексного действия являются ускорители набора крепости или бетонные упрочнители. Они наделены качествами как суперпластификаторов, так и ускорителей твердения. В их состав включены органические и неорганические соединения без щелочей.

Введение в сырьевую смесь армирующих добавок на основе полимерных и базальтовых волокон-фибр, а также пластифицирующей и модифицирующей добавок способствует увеличению прочности и коэффициента конструктивного качества пенобетона.

Применяется вода для бетонов и растворов в соответствии ГОСТ 23732–2011. «Вода для бетонов и растворов. Технические условия». [14]

1.3 Технология изготовления ячеистых бетонов

1.3.1 Физико-химические процессы формирования пористой структуры ячеистого бетона

Макро- и микроструктура ячеистого бетона представляет структуру порового пространства и межпоровых перегородок. Поровое пространство характеризуется формой, размерами, распределением пор в массиве и их общим содержанием. Сформированную в результате автоклавной обработки структуру бетона описывают с позиции состава межпустотного материала, характера и морфологических особенностей гидратных фаз и строения порового пространства. [15]

Формирование пористой структуры ячеистого бетона происходит в результате выделения определенного объема газа, образующегося на поверхности равномерно распределенных микрочастиц газообразователя, например, при протекании химической реакции между алюминиевой пудрой и гидроксидом кальция с выделением водорода:



Газообразование включает три стадии: образование газовых пузырьков на поверхности частиц алюминиевой пудры, увеличение их объема, стабилизацию размеров и локализацию газовых пузырьков – пор.

Основными условиями получения качественной ячеистой структуры с порами правильной сферической формы, равномерно распределенными в массе бетона без дефектов поровой структуры, является вид, качество и количество газообразователя, и соответствие кинетики газовыделения изменению реологических характеристик вспучиваемой ячеистобетонной массы. Для достижения соответствия скоростей процессов газовыделения и нарастания пластично-вязких свойств вспучиваемой массы, которая в начале процесса

газовыделения должна нарастать медленно, а в конце быстро, используют различные технологические приемы — это регулирование В/Т отношения, температуры воды затворения ячеистой массы, условий формования и введения добавок.

Особенно эффективным является управление структурообразованием ячеистых масс при введении добавок и механического воздействия при формовании изделий. При вибрационном воздействии происходит разжижение ячеистых масс, что позволяет регулировать кинетику ее пластично-вязких свойств с учетом кинетики газовыделения. В результате происходит резкое снижение предельного напряжения сдвига и в меньшей степени вязкости, это позволяет получить равномерно пористую ячеистую структуру без дефектов межпоровых перегородок.

Структура межпоровых перегородок определяется минеральным составом, степенью дисперсности и кристаллизации новообразований, плотностью и прочностью материала межпоровой перегородки, зависит от вида, состава сырья и ячеистобетонной массы, В/Т отношения, условий поризации, формования и твердения ячеистых бетонов. Основными способами формирования качественной межпоровой перегородки является повышение ее плотности и уменьшение пористости материала межпоровой перегородки, что увеличивает прочность при сжатии и изгибе.

Получение минимально возможной толщины межпоровых перегородок требует особого подхода к дисперсности кремнеземистого заполнителя, а при низких плотностях изделий к дисперсности цемента.

1.3.2 Теоретические основы процессов твердения минеральных вяжущих веществ

Твердение минеральных вяжущих является сложным физико-химическим процессом в системе «вяжущее – вода», заключающимся в преобразовании исходных компонентов в смесь новых минералов, из которых слагается искусственный камень.

Теория твердения минеральных вяжущих состоит из следующих процессов: растворение – коллоидация – кристаллизация, которая сохраняется только на начальной стадии взаимодействия, а затем все три протекают одновременно. Растворение: любое вещество в большей или меньшей степени растворяется в воде и стремится создать насыщенный раствор. Минералы, из которых состоят вяжущие, обладают химической активностью по отношению к воде и поэтому они не только растворяются, но и вступают с водой в реакцию гидратации с образованием новых соединений, включающих в свой состав кристаллизационную воду (кристаллогидраты). Данный процесс завершается, когда вся вода превращается в насыщенный раствор по отношению к новым кристаллогидратам. [15]

Коллоидация характеризуется загустеванием, повышением вязкости смеси в связи с тем, что часть воды, которая обеспечивает пластичность, участвует в химической реакции с вяжущим, а другая адсорбируется на поверхности зерен вяжущего. Растворение затормаживается и вокруг каждого зерна образуется студнеобразная, клейковидная масса-гель, обладающая склеивающей способностью, которая тем выше, чем меньше содержится воды. Так как процесс взаимодействия вяжущего с водой продолжается, то постепенно раствор из насыщенного переходит в пересыщенный и из него начинают выкристаллизовываться мельчайшие кристаллы новообразований.

Твердение переходит в третий заключительный этап – кристаллизацию, при котором мелкие кристаллы укрупняются, срастаются между собой, образуя жесткую структуру, и весь материал приобретает прочность камня. Скорость твердения зависит от растворимости веществ, составляющих вяжущее, и растворимости образующихся в результате реакции с водой соединений. Следовательно, ускоряя растворимость вяжущего путем повышения температуры, применения специальных добавок и другими методами можно регулировать скорость образования искусственного камня. [1]

1.3.3 Технологические операции производства ячеистых бетонов

Производство изделий из ячеистого бетона состоит из следующих основных технологических операций: [16]

- подготовка сырьевых материалов;
- приготовление ячеистобетонной смеси;
- формование изделий;
- тепловая обработка.

Изначально подготавливают сырьевые компоненты. Для обеспечения повышенной устойчивости поризованной массы и структурной прочности, а также для создания цементирующих новообразований при твердении, в технологии теплоизоляционных ячеистых бетонов применяют тонкодисперсные композиции. Необходимо измельчать кремнеземистый компонент и известь, а цемент и алюминиевую пудру помолу не подвергают, потому что они имеют высокую удельную поверхность. При производстве ячеистых бетонов на стадии подготовки сырьевых материалов применяют 2 способа: мокрый помол основной массы кремнеземистого компонента (песка) и сухой помол известково-песчаного вяжущего (при соотношении известь: песок-1:0,2).

Вода поддерживается в песчаном шламе на уровне, который обеспечивает текучесть суспензии. Совместный сухой помол компонентов (извести, цемента и песка) позволяет активизировать цемент и обеспечить однородность смеси. Первый и второй способ производства ячеистых бетонов реализуется в присутствии ПАВ, что способствует повышенному измельчению, предотвращает слипание частиц. Алюминиевую пудру (газообразователь) смешивают с ПАВ и водой в соотношении 1:0,5:30, далее полученную алюминиевую пасту подают в смеситель.

Вторым этапом производства ячеистых бетонов является приготовление ячеистобетонной смеси. Применяют два способа, которые зависят от принятой технологии (безвибрационный и вибрационный) и вида пенообразователя. На

данном этапе наблюдаются различия в технологии изготовления газо- и пенобетона. При газобетонной технологии стадия приготовления смеси включает дозирование и смешивание всех компонентов, так как необходимо получить однородный раствор с заданными технологическими свойствами. На стадии формирования изделий происходит поризация раствора.

Пенобетонную смесь готовят в двухбарабанных и пенобетононосителях периодического действия. Изначально в пеновзбиватель поступает раствор пенообразователя, далее в течение 5 минут готовят пену. Смесь, состоящую из вяжущего, кремнеземистого компонента и воды, изготавливают в растворосмесительном барабане. Далее пену выгружают в барабан с раствором и перемешивают в течение 2 минут. Смесь, полученную из разных замесов, передают в бункер с мешалкой, это необходимо для выравнивания плотности. Из бункера смесь поступает в раздаточный бункер для заполнения форм.

Приготовление формовочной газобетонной смеси имеет свои особенности: загружают песчаный шлак, зольный шлак, воду, вяжущее и газообразователь в виде суспензии в вертикальный самоходный газобетоноситель при включенном перемешивающем механизме. Также вводятся добавки такие как: гипс жидкое стекло, ПАВ совместно с вяжущими в газобетонный смеситель. Перемешивание происходит в течение 3-5 мин до загрузки газообразователя. Далее в течение 1-3 мин после загрузки газообразователя перемещение происходит от газобетоносителя к формовочному посту. При приготовлении формовочных масс для газобетона необходимо подогреть шлак и воду до 40-50°C для того, чтобы достичь наилучшего взаимодействия алюминиевой пудры с раствором. [17]

Стадия формования является одной из важнейших операций при производстве газобетонных изделий. На данном этапе должны соблюдаться основные условия получения поризованной массы (кинетика газовыделения должна соответствовать изменению реологических свойств массы). На практике применяют литьевую и вибрационную схему формования (для литьевой характерно то, что вспучивание происходит в неподвижных формах в

течение 25-50 мин; для вибровспучивания характерно то, что форма подвергается вибрации на протяжении всего процесса газовыделения).

При литьевой технологии применяют агрегатнопоточный метод формования. Он заключается в следующем: формы устанавливают вдоль пути передвижения газобетономешалки, при этом не происходит перемещений или сотрясения форм после заливки до завершения вспучивания смеси. При вибрационной технологии применяют стендовый или конвейерный принцип формования. На специальном посту, оборудованном виброплощадкой, формуют изделия из ячеистой смеси. Вибрация прекращается только после вспучивания смеси.

Завершающим этапом формирования изделий является тепловая обработка. Изначально необходимо выдержать изделия в формах в течение 2-4 ч, затем отправлять на посты резки для того, чтобы выровнять открытую поверхность изделий и совершить соответствующие операции. Данные процессы осуществляются на резательной машине.

При изготовлении безавтоклавных изделий тепловая обработка осуществляется по следующему режиму пропаривания: подъем температуры (до 90-95°C в течение 3 ч), выдержка (при температуре 90-95 °C в течение 12 ч), снижение температуры (до 40°C в течение 2 ч). Данный температурный режим корректируют в зависимости от физико-химических факторов, например, от размера изделия, вида вяжущего и т.д.

Тепловая обработка автоклавных изделий происходит в три стадии при давлении 0,9-1,3 МПа, температуре 175°C-191°C, в среде насыщенного или перегретого водяного пара. На первой стадии происходит выпуск пара в автоклав, заканчивается, когда достигается равенство температур теплоносителя и изделий по толщине. Нагрев изделия осуществляется за счет теплопроводности и теплом, выделявшимся при конденсации пара (проникает через поры в материал). Результатом является увеличение влажности изделий. Длительность первой стадии и всего цикла автоклавной уменьшают за счет быстрого подъема давления, повышения температуры массива и снижения

влажности. Вторая стадия протекает в момент выравнивания температуры изделия по его сечению. Прогрев изделия на данном этапе определяется возрастанием давления пара на первой стадии, а также значением исходной температуры и влажности массы. На данной стадии происходят химические реакции (взаимодействие гидроксида кальция и оксида кремния с получением двухосновных гидросиликатов). Важным условием протекания второй стадии являются поддержание постоянства температуры и давления. Третья стадия характеризуется снижением температуры и давления, высоким испарением воды. В результате интенсивного парообразования, которое возникает из-за снижения давления пара в автоклаве, наблюдается значительное напряжение, которое иногда превышает прочность бетона, что приводит к образованию трещин. Для предотвращения данного явления при коротких режимах охлаждения применяют ступенчатый режим снижения давления пара в автоклаве. [16]

Готовые изделия из теплоизоляционного ячеистого бетона должны быть упакованы в пакеты и храниться в помещениях с хорошей вентиляцией. Транспортировать изделия нужно в контейнерах, защищающих бетон от воздействия атмосферной влаги.

1.4 Отечественный и зарубежный опыт производства ячеистых бетонов на основе золошлаковых отходов

Применение золошлаковых отходов занимает одну из лидирующих позиций. Переработанные отходы могут значительно сократить использование природного сырья в строительстве. Объемы золошлаковых отходов увеличиваются с каждым годом, что создает перспективы, направленные на их изучение и применение. Замена компонентов материала вторичными отходами может решить проблему выбросов при переработке, снизить потребление природных ресурсов и способствовать производству новых строительных материалов.

При производстве автоклавного бетона на основе летучей золы плотностью 350 кг/м^3 в качестве чистого материала для возведения строительных конструкций оценивался показатель теплопередачи. Автоклавный бетон, основанный на летучей золе, имеет лучшую теплоизоляцию, чем на основе песка с такой же плотностью. Именно поэтому авторами статьи [5] проводятся исследования по изготовлению автоклавного бетона на основе летучей золы, имеющей плотность 340 кг/м^3 .

Автоклавный бетон состоит из цемента, негашеной извести, гипса, кремнеземистых материалов, вспенивающих материалов и алюминиевого порошка. В данной статье применяли негашеную известь и гипс; летучая зола была получена электростанцией Скавина. В таблице 1.4.1 представлен химический состав сырья.

Таблица 1.4.1 – Химический состав сырья

Содержание, масс. %	Негашенная известь	Гипс	Летучая зола
SiO ₂	2,4	3,6	49,0
SO ₃	0,4	39,8	0,7
Fe ₂ O ₃	1,1	0,4	6,8
Al ₂ O ₃	0,0	0,0	24,4
CaO	89,8	31,4	4,2
MgO	3,0	1,7	3,2
Na ₂ O	0,2	0,2	1,7
K ₂ O	0,0	0,2	3,4
Ti ₂ O ₂	0,0	0,1	1,1
Удельная поверхность, см ² /г	2900	3700	4300

В ходе исследования были изготовлены образцы, проведены испытания на сжатие на гидравлическом прессе, с помощью рентгенофазового анализа выявлен химический состав полученных образцов, с помощью электронного микроскопа изучена микроструктура. Протестированы образцы, полученные на основе песка и летучей золы различной плотности. Сделаны следующие выводы: автоклавный бетон на основе летучей золы имеет лучшую теплоизоляцию, чем на основе песка при той же плотности; продукт гидратации в летучей золе автоклавного бетона менее кристаллический, чем на основе песка; применение автоклавного бетона с меньшей плотностью увеличивает

пропускную способность и оказывает меньшее негативное влияние на состояние окружающей среды; применение автоклавного бетона приводит к уменьшению толщины внешних стен, следовательно, к уменьшению толщины изоляции.

Пенобетоны являются перспективными строительными материалами, которые получили широкое применение благодаря простой технологии и свойствам. Основной проблемой по сравнению с газобетонами является пониженная прочность. Авторами статьи [18] рассматриваются возможности создания прочного пенобетона путем применения технологии интенсивного перемешивания с использованием модифицирующих добавок. В качестве сырья для экспериментальных образцов применяли портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (основное связующее), песок натуральный фракцией 0,1 мм (наполнитель); микрокремнезем и метакаолин, которые используются в качестве активной пуццолановой добавки и придают дополнительное цементирование материалу); при перемешивании добавляли синтетический пенообразователь в количестве 0,35-0,6 масс.%; применяли полипропиленовые и углеродные волокна. С анализируемыми образцами проводили испытания на сжатие на гидравлической испытательной машине, применяли различные методы для выявления водопоглощения, циклами замораживания оттаивания проверялась морозостойкость.

По результатам исследований было выявлено, что образцы газобетонов имеют самые высокие показатели абсорбции, но образцы высокой плотности обладают меньшим водопоглощением. Микрокремнезем оказывает положительное воздействие на водонепроницаемость и прочность, что объясняется формированием микроструктуры цемента за счет заполнения зазоров между зернами цемента и пуццолановой активностью. Материал с углеродным волокном и микрокремнеземом имеет высокую прочность, что объясняется высокой плотностью и меньшей пористостью этих смесей по сравнению с образцами, имеющую высокую плотность без пуццолановых добавок.

Сделаны выводы о том, что долговечность пенобетонов является одной из основных проблем, особенно в условиях холодного и сырого климата. Применение пуццолановых добавок приводит к образованию более высоких показателей водостойкости и прочности, что объясняется закрытой пористостью. Пористый силикатный бетон низкой плотности имеет наименьшую долговечность, морозостойкость составляет 100 циклов, что характерно для обычного бетона.

Автором рассматривалась статья [19], в которой представлены результаты физико-химических характеристик двух пеплов-уносов в испанских городах.

Был проведен физико-химический анализ золы с целью установления ее химического и минералогического состава, морфологических характеристик, текстурных свойств. Было отмечено, что они имеют высокое содержание хлоридов, что является продуктивным для использования их в строительных материалах.

Химический состав золы-уноса определяли методом рентгеновской флуоресценции. К каждому образцу порошка золы готовили стеклянную бусину из бора. Химические анализы шариков проводились в вакууме с использованием последовательного спектрометра, оснащенного трубками и тремя детекторами. Морфологические и композиционные анализы проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Химический анализ показал большое количество хлорида и наличие других веществ, поэтому зола должна быть предварительно обработана, прежде чем ее использовать в качестве сырья для производства цемента. Также ни в одном из двух пеплов не было обнаружено пуццолановой активности. Это выражает необходимость добавления стекловидного кремнезема в исходную смесь для подготовки сырья перед прокаливанием и необходимости предварительной обработки золы активацией. Было выявлено, что образованные цементы могут применяться в строительстве, но не смогут заменить обычный портландцемент (разновидность цемента, представляющий

собой особое гидравлическое и вяжущее вещество) для изготовления конструкционного бетона.

Авторами статьи [20] рассматривалась возможность включения наноматериалов в матрицу мелкозернистых бетонов для повышения эксплуатационных свойств. Целями эксперимента было получение композита на основе цементно-песчаной матрицы, дисперсно-армированного алюминиевой нанопиброй, с последующим изучением свойств полученного материала. В качестве заполнителя был принят мелкозернистый цемент, имеющий следующий состав: цементно-песчаное отношение 1:2, водоцементное отношение 0,45; дозировка суперпластификатора С-3-0,7% от массы вяжущего, дозировка нановолокон из Al_2O_3 и $AlO(OH)$ составил масс. % 3,8 и 13. Сравнение производилось с контрольными образцами, изготовленными на идентичных составах без добавления нанодисперсных модификаторов. Анализ результатов исследования показал, что введение нановолокон приводит к увеличению пористости в зависимости от дозировки волокон, что обусловлено их высокой удельной поверхностью, это объясняется повышенной реакционной способностью нановолокон в щелочной среде твердеющего цементно-песчаного раствора. В результате, часть нановолокон реагирует с продуктами гидратации цемента в начальный период с выделением водорода, который приводит к повышению воздухоовлечения и общей пористости бетона.

Научными сотрудниками был проведен эксперимент [21], в котором особый интерес представляет применение нанодисперсных частиц в мелкозернистых бетонах, который оказывает влияние на вязкость бетона путем введения в состав добавок. Обычно эти добавки включают волокнистые материалы. В исследовании оценивалось воздействие нановолокон на свойства бетонов.

В результате упругость при деформации увеличивается с 18,3 до 40,9 кПа, эффект зависит от концентрации добавки. Установлено, что масса нановолокон достигает 8 кг. За счет увеличения пор полученного

композиционного материала и наличия низкоэнергетических свойств, а также введения нановолокон 13 масс. %, прочность при сжатии увеличились до 25%. В эксперименте авторы изучают изменение степени деформации бетона при одновременном добавлении различных добавок на 28 суток, что представлено на рисунке 1.4.1. Добавление нановолокна $AlO(OH)$ и Al_2O_3 в качестве добавки к мелкозернистому бетону дает положительный эффект. Таким образом, добавление нановолокна Al_2O_3 минимизирует деформацию бетона.

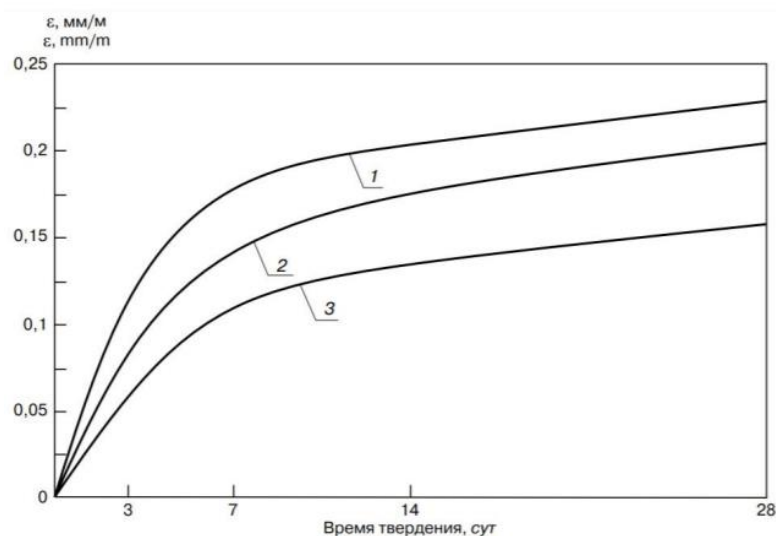


Рисунок 1.4.1 – Деформация усадки бетона при твердении:

- 1 – без нановолокон $AlO(OH)$ или Al_2O_3 ; 2 – с нановолокнами $AlO(OH)$;
3 – нановолокнами Al_2O_3

1.5 Патентный поиск в области получения ячеистых бетонов на основе золошлаковых отходов

В таблице 1.5.1 представлен результат поиска патентной информации в области получения ячеистых бетонов на основе золошлаковых отходов.

Таблица 1.5.1 – Патентный поиск

Класс изобретения	№ патента	год	Цель изобретения	Технологические параметры	Состав масс, %	Свойства
C04B38/02 [22]		2011	Легкие вспененные вяжущие вещества на основе золошлаковых отходов и способ их получения	В качестве наполнителя состав содержит измельченный базальт фракции 1,0-2,0 мм	Зола -уноса 65-75, безводный силикат натрия 25-35, вода до водовяжущего отношения 0,4-0,5.	6,9-9,65 МПа
C04B38/02 [23]	2547532	2013	Улучшении основных технико-эксплуатационных и теплофизических характеристик: механической прочности, пористости, плотности, теплопроводности, повышении жаростойкости.	Смесь для жаростойкого пенобетона включает композиционное наноструктурированное гипсовое вяжущее, пенообразователь и воду, где в качестве вяжущего используют композицию, состоящую из гипса и тонкомолотого кремнеземсодержащего компонента	Гипс строительный 10-90 и кремнеземсодержащий компонент 90-10, синтетический пенообразователь 0,4-0,6, вода 24,1-38,7	Теплопроводность 0,09-0,012, 0,8 – 1,1 МПа

Продолжение таблицы 1.5.1

С04В 20/06 [24]	2532112	2014	Повышение прочностных показателей, снижение себестоимости продукции, отказ от дополнительного введения добавок, сокращение режима тепловой обработки.	Режим сушки проходит при $t=99^{\circ}\text{C}$, $\tau=10$ ч.	Микрокремнезем 33,5-45; золошлаковая смесь 3,0-14,5; отход обогащения апатитонепелиновой руды 25-30; гидроксид натрия (в пересчете на Na_2O) 22-27; двууглекислый аммоний 0,5-1,5	После сушки 57-61 МПа
-----------------	---------	------	---	--	--	-----------------------

Окончание таблицы 1.5.1

S04B38/02 B82B3/00 [25]	2524361	2012	Получение газобетона с улучшенными прочностными и теплоизоляционными характеристиками	Данный способ, заключающийся в том, что в продутый аргоном реактор распыляют катализатор в виде пылевидного сплава на основе никеля, нагревают до температуры 600-1150°C	Портландцемент 8,9-10,5; негашеная известь 41,4-43,8; многослойные углеродные нанотрубки, химически функционализированные кислородосодержащими группами 0,0003-0,03; технологические добавки 8,97-9,8; вода 35,881-40,7297	Прочность, 1,3 МПа, плотность, 310 кг/м ³ , теплопроводность, 0,08 Вт/м°C
S04B 18/10 [26]	2607 555	2015	Снижение водосодержания смеси	После заливки полученной смеси в герметичную смазанную форму ее помещают в камеру термовлажностной обработки при температуре 35°C, где происходит взаимодействие алюминиевой пасты с продуктами гидратации цемента, вследствие чего выделяется водород, смесь вспучивается и увеличивается в объеме до 2-х раз в течение 25-45 мин. После этого форму в камере выдерживают 8-10 ч до резки	Портландцемент 39,0-56,4; зола-уноса ТЭЦ-4 г.Омск 8,5-30,0; гипс строительный ГП-6 0,28-0,41; алюминиевая паста 0,06-0,1; моющий порошок «Зифа»0,001-0,002; гидроксид натрия 0,41-0,6; хлорид кальция 0,21-0,26; фибра полипропиленовая 0,06-0,07; вода 29,978-33,659	Прочность при сжатии, 5,4 МПа; плотность, 600 кг/м ³ теплопроводность, 0,12 Вт/м°C
S04B38/02 B82B3/00 [27]	2600398	2015	Способы переработки продуктов сгорания	Включает в себя совместное измельчение извести и песка (15% от ИКВ) до удельной поверхности 2700-2900 см ² /г.	Портландцемент 8-14; известь негашеная 12-18; золошлаковые отходы 37-40; вода с температурой 45-55°C; алюминиевый газообразователь 0,15-0,40; дисперсия многослойных углеродных нанотрубок 0,005-0,02	Плотность, 258 кг/м ³ , теплопроводность, 0,064 Вт/м°C, прочность при сжатии, 1,2МПа, пористость, 82%

2 Методическая часть

Методическая часть включает в себя методику подготовки первоначальных сырьевых и дополнительных материалов, методику получения лабораторных образцов ячеистых бетонов на основе золошлаковых отходов и исследование его характеристик.

2.1 Получение лабораторных образцов

Процесс получения лабораторных образцов ячеистого бетона включает в себя следующие операции:

- подготовка и исследования исходных сырьевых материалов;
- исследование свойств бетонной смеси;
- дозировка и смешивание компонентов;
- получение пористой структуры;
- заливка образцов в форму;
- твердение в естественных условиях;
- определение физико-механических свойств образцов на 28 сутки.

2.1.1 Подготовка и исследование исходных сырьевых материалов

В качестве исходных сырьевых материалов использовали: кремниземистый компонент (строительный песок), вяжущие вещества (портландцемент марки М400, гипс марки Г-6), золошлаковые отходы, полученные при сжигании бурого угля на базе Березовского разреза СУЭК в Шарыповском районе Красноярского края), порообразующий агент (алюминиевая пудра марки ПАП-1), специальные корректирующие добавки (нановолокна на основе оксида алюминия), вода.

Портландцемент и гипс имеют размер менее 100 мкм и в дополнительном измельчении не нуждаются. Алюминиевая пудра представляет собой

мелкодисперсный порошок с высоким значением удельной поверхности. К дополнительному измельчению подвергали кварцевый песок и золы ТЭЦ с целью получения нужного гранулометрического состава на кольцевой мельнице, внешний вид и стандартные характеристики которой представлены соответственно на рисунке 2.1.1.1 и в таблице 2.1.1.1.

Стандартная кольцевая мельница предназначена для измельчения образцов от 1 до 1000 грамм. Она имеет мощный стальной корпус с надежной звукоизоляцией и удобным выносным блоком управления и может быть зафиксирована на полу. В стандартной кольцевой мельнице, в качестве запорной системы применяется пневматический замок, использование которого в вибрационной среде, увеличивает срок службы головки минимум вдвое при прочих равных условиях. Используются истирающие головки из хромистой, углеродистой, карбидвольфрамовой стали, агата, циркониевой керамики.



Рисунок 2.1.1.1 – Внешний вид стандартной кольцевой мельницы Rocklabs

Таблица 2.1.1.1 – Технические характеристики кольцевой мельницы

Параметры, единицы измерения	Значения параметров
Мощность электродвигателя	1,1 кВт, трехфазный или однофазный
Крупность исходного питания, мм,	Рекомендуемый размер образца: 2-5; максимальный размер: 8

Окончание таблицы 2.1.1.1

Минимальная фракция на выходе, мм	(95%) 0,074
Габаритные размеры, мм:	
длина	715
ширина	611
высота	1183
Масса, кг	220

Для получения ячеистых бетонов применяли кварцевый песок удельной поверхностью 2500-2700 см²/г.

2.1.2 Дозировка и смешивание компонентов

Взвешивание твердых компонентов осуществляется на лабораторных весах AMD HL 2000, которые представлены на рисунке 2.1.2.1 и АН-220СЕ, представленных на рисунке 2.1.2.2. Количество воды отмеряли с помощью мерного стакана.



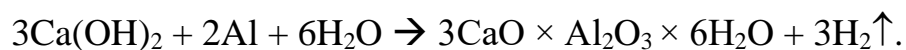
Рисунок 2.1.2.1 – Лабораторные весы AMD HL 2000



Рисунок 2.1.2.2 –Лабораторные весы АН-220СЕ

2.1.3 Формирование пористой структуры и формирование образцов

Для формирования пористой структуры газобетона применяли химический способ газообразования за счет взаимодействия алюминиевой пудры (газообразователя) с гидроксидом кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ либо натрия NaOH и водой по реакции: [1]



Для создания газобетонной смеси подготавливалась сырьевая масса в следующей последовательности: механическую активацию портландцемента, золошлаковых отходов и гипса проводили на кольцевой мельнице, далее добавляли песок, тщательно перемешивали, вводили алюминиевую пудру в раствор газобетона в виде суспензии, которая при взаимодействии с водой приводит к выделению водорода. Образующийся водород обеспечивает равномерную поризацию (вспучивание) растворной смеси.

Затем полученную газобетонную массу разливали в специальные формы размером (10×10×10 см), представленные на рисунке 2.1.3.1.

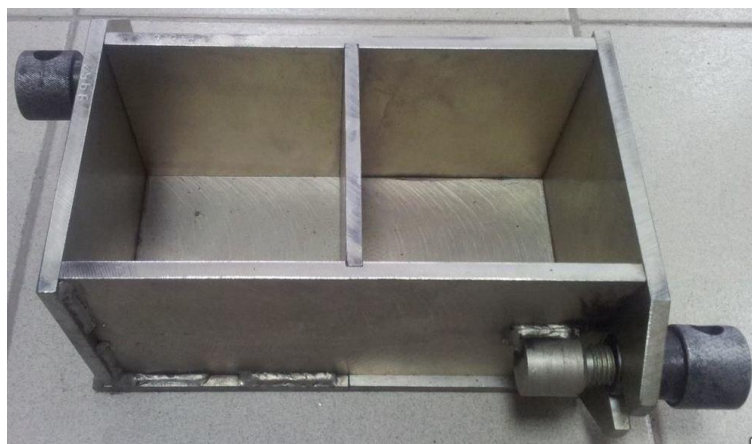


Рисунок 2.1.3.1 – Форма для заливки бетонной смеси

2.1.4 Определение физико-механических свойств экспериментальных образцов

Сформованные образцы выдерживали в нормально-влажностных условиях, при температуре 20 °С и относительной влажности 30 – 50%.

Необходимо определить водопоглощение, плотность, пористость, прочность при сжатии экспериментальных образцов.

Определение водопоглощения:[28]

Метод основан на определении разности массы образцов до и после насыщения их водой. Высушенные до постоянной массы образцы из газобетона взвешивают и погружают в воду на 3 суток, определяя их массу через каждые сутки.

Водопоглощение образцов по истечению каждых суток ($W_{\text{погл}}$) в процентах по массе вычисляют по формуле:

$$W_{\text{погл}} = \frac{m - m_1}{m_1} \times 100, \quad (1)$$

где m , m_1 – массы образцов соответственно насыщенного водой и сухого.

Водопоглощение определяют как среднеарифметическое результатов определения нескольких образцов.

Определение плотности:

Для того чтобы определить кажущуюся плотность полученных образцов необходимо знать их объем и массу. Тогда по формуле найдем кажущуюся плотность каждого образца:

$$\rho_k = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

где m – масса образца, г;

V – объем образца, см³.

Определение пористости:

Методика определение пористости пенобетонных образцов по ГОСТ 12730.4-2020 «Бетоны. Методы определения параметров пористости». [29]

Общая или истинная пористость ($\Pi_{и}$) определяется по формуле:

$$\Pi_{и} = \left(1 - \frac{\rho_{к}}{\rho}\right) \times 100 \%, \quad (3)$$

где $\rho_{к}$ – кажущаяся плотность, г/см³;

ρ - общая (истинная) плотность, г/см³.

Открытая пористость ($\Pi_{о}$) находится как произведение водопоглощения на кажущуюся плотность определяется по формуле:

$$\Pi_{о} = W \times \rho_{к} = \rho_{к} \times \frac{m_1 - m}{m} \times 100\%, \quad (4)$$

$$\Pi_{о} = \frac{\rho_{ж}(m_1 - m)}{m_1 - m_2} \times 100 \%, \quad (5)$$

где m – масса сухого образца, г;

m_1 и m_2 – масса насыщенного жидкостью образца при взвешивании в воздухе и погруженного в жидкость соответственно, г;

$\rho_{к}$ – кажущаяся плотность, г/см³.

Закрытая пористость ($\Pi_{з}$) определяется по формуле:

$$\Pi_{з} = \Pi_{и} - \Pi_{о}. \quad (6)$$

Определение прочности при сжатии:

Определение физико-механических свойств ячеистых бетонов производится в соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по образцам», [30] ГОСТ 12730.1-78

"Бетоны. Методы определения плотности" или ГОСТ 17623- 87 «Бетоны. Радиоизотопный метод определения средней плотности». [31] Свойства ячеистого бетона устанавливаются на основании результатов испытаний контрольных образцов-кубов размером 5 x 5 x 5 см или образцов-цилиндров диаметром и высотой 5 мм.

Определение предела прочности при сжатии ячеистого бетона производят на шести образцах-кубах или образцах-цилиндрах. Образцы высушивают до постоянной массы, охлаждают, подшлифовывают опорные поверхности и испытывают на сжатие на гидравлическом прессе. Испытание образцов на сжатие производят в положении, соответствующем работе изделия в конструкции. Сжимающая сила должна быть направлена перпендикулярно заливке бетонной смеси при горизонтальном формовании и параллельно или перпендикулярно – при вертикальной заливке, в зависимости от работы изделия в конструкции.

Давление на образец должно возрастать равномерно со скоростью 2 – 3 кг/см² в секунду до его разрушения.

Предел прочности ячеистого бетона при сжатии (МПа) вычисляют с точностью до 0,1 МПа по формуле:

$$R_{сж} = (F / S_{обр}) \times 0,098, \quad (7)$$

где F – разрушающая нагрузка, кг;

S_{обр} – площадь образца, см².

Предел прочности при сжатии определяют как среднеарифметическое результатов определения нескольких образцов.

2.1. 5 Исследование структуры

Рентгенофазовый анализ (РФА):

Целью рентгенофазового анализа является идентификация вещества в смеси по набору его межплоскостных расстояний (d) и относительным интенсивностям (I) соответствующих линий на рентгенограмме. Для этого, согласно закону Вульфа – Брегга, необходимо определение углов отражения θ . Основной задачей РФА является идентификация различных фаз из смеси на основе анализа дифракционной картины, получаемой исследуемым образцом.

В основе РФА лежат следующие принципы:

- 1) порошковая дифракционная картина является индивидуальной характеристикой кристаллического вещества;
- 2) каждая кристаллическая фаза дает всегда одинаковый дифракционный спектр, характеризующийся набором межплоскостных расстояний $d(hkl)$ и соответствующих интенсивностей линий $I(hkl)$, присущим только данной кристаллической фазе;
- 3) рентгендифракционный спектр от смеси индивидуальных фаз является суперпозицией их дифракционных спектров;
- 4) по дифракционному спектру смеси возможна количественная оценка соотношения кристаллических фаз, присутствующих в изучаемом образце.

Соотношение интенсивностей присутствующих в конкретном образце кристаллических фаз пропорционально содержанию фаз в нем.

В методе РФА, использующем явление дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке, каждая фаза имеет свою кристаллическую решетку. Под фазой понимают часть вещества, отделенного от других его частей границей раздела, при переходе через которую свойства меняются скачком.

2.1.6 Планирование эксперимента. Полный факторный эксперимент

Первый этап планирования эксперимента для получения линейной модели основан на варьировании факторов на двух уровнях. В этом случае, если число факторов известно, то можно сразу найти число опытов, необходимое для реализации всех возможных сочетаний уровней факторов. Простая формула, которая для этого применяется: [32]

$$N = 2^k, \quad (8)$$

где N – число опытов;

2 – число уровней;

k – число факторов.

В общем случае эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней факторов, называется полным факторным экспериментом. Если число уровней каждого фактора равно двум, то имеем полный факторный эксперимент типа 2^k .

В планировании эксперимента используются кодированные значения факторов: +1 и -1. Условия эксперимента можно записать в виде таблицы, где строки соответствуют различным факторам. Такие таблицы называются матрицами планирования эксперимента.

Матрица планирования эксперимента с двумя факторами представлена в таблице 2.1.6.1.

Таблица 2.1.6.1 – Матрица планирования эксперимента 2^2

Номер опыта	X_1	X_2	Y
1	+1	+1	Y_1
2	-1	+1	Y_2
3	+1	-1	Y_3
4	-1	-1	Y_4

Каждый столбец в матрице планирования называется вектор – столбцом, а каждая строка называется вектор – строкой.

Свойства полного факторного эксперимента типа 2^k :

Матрицы полного факторного эксперимента обладают свойствами симметричности, нормировки, ортогональности и ротатабельности. Два свойства следуют непосредственно из построения матрицы. Первое – симметричность относительно эксперимента – формируется следующим образом: алгебраическая сумма элементов вектор – столбца каждого фактора равна нулю, или определяется по формуле: [32]

$$\sum_{i=1}^N X_{ji} = 0, \quad (9)$$

где $i=1$;

j – номер фактора;

$j = 1, 2 \dots k$;

N – число опытов.

Второе свойство – условие нормировки – формулируется следующим образом: сумма квадратов элементов каждого столбца равна числу опытов, или определяется по формуле: [32]

$$\sum_{i=1}^N X_{ji}^2 = N. \quad (10)$$

Это следствие того, что значения факторов в матрице задаются $+1$ и -1 .

Третье свойство относится к совокупности столбцов. Сумма почленных произведений любых двух вектор – столбцов матрицы равна нулю, или определяется по формуле: [32]

$$\sum_{i=1}^N X_{ji} \cdot X_{ui} = 0, \quad (11)$$

где $j \neq u$;

$u = 0, 1, 2, \dots$

Это свойство называется ортогональностью матрицы планирования.

Последнее, четвертое, свойство называется ротатабельностью. Оно означает, что все точки в матрице планирования подбираются так, чтобы точность предсказания значений параметра оптимизации была одинакова на равных расстояниях от центра эксперимента и не зависела от направления.

Полный факторный эксперимент и математическая модель:

Цель – найти по результатам эксперимента значения неизвестных коэффициентов модели. Их можно вычислить по простой формуле: [32]

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N X_{iu} \cdot Y_u}{N}, \quad (12)$$

где $i = 0, 1, \dots, k$.

Для подсчета коэффициента b_1 используется вектор – столбец X_1 , а для b_2 – столбец X_2 . Теперь найдем b_0 . Если уравнение $Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2$ справедливо, т.е. b_0 - среднее арифметическое значение параметра оптимизации. Чтобы его получить необходимо, сложить все Y и разделить на число опытов. Коэффициенты независимых переменных указывают на силу влияния факторов. Чем больше величина коэффициента, тем большее влияние оказывает фактор. Если коэффициент имеет знак плюс, т.е. с увеличением значения фактора параметр оптимизации увеличивается, а если минус уменьшается. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину параметра оптимизации при переходе фактора с нулевого уровня на верхний или нижний.

Область проведения эксперимента выбирается в два этапа:

Основной уровень – многомерная точка в факторном пространстве, задаваемая комбинацией уровней факторов. Построение плана эксперимента сводится к выбору экспериментальных точек, симметричных относительно основного уровня при установлении основного уровня приходится рассматривать различные ситуации. Ситуации задаются информацией о наилучших точках и определяют решения.

Следующий этап – выбор интервала варьирования факторов. Для каждого фактора определяются два уровня, на которых он варьируется в эксперименте. Уровни факторов изображаются двумя точками на координатной оси, симметрично относительно основного уровня. Один из уровней – верхний, другой – нижний. Интервалом варьирования факторов называется некоторое число свое для каждого фактора, прибавление которого к основному уровню дает верхний, а вычитание нижний уровень. Для упрощения записи оси задают так, чтобы верхний уровень соответствовал +1, нижний – 1, основной 0. В задачах интерполяции интервал варьирования охватывает всю описываемую область.

Эксперимент, в котором реализуются все возможные сочетания уровней, называется полным факторным экспериментом. Полный факторный эксперимент типа 2^k обладает свойствами симметричности, нормировки, ортогональности, ротатабельности. Коэффициенты, вычисленные по результатам эксперимента, указывают на силу влияния факторов. Эффект фактора численно равен удвоенному коэффициенту. В тех случаях, когда эффект одного фактора зависит от уровня, на котором находится другой фактор, говорят о наличии эффекта взаимодействия двух факторов. Для его количественной оценки получают столбец произведений этих факторов и обращаются с ними как с вектор – столбцом любого фактора.

3 Экспериментальная часть

В работе проведены исследования по применению золошлаковых отходов в составе комплексного вяжущего и заполнителя для производства ячеистых бетонов. Также проведены исследования по модифицированию цементной матрицы нановолокнами оксида алюминия.

3.1 Физико-химический состав золошлаковых отходов

Золошлаковые отходы образуются в процессе сжигания угля или торфа на тепловых электростанциях или котельных. В качестве сырья для такого производства выступает уголь. В процессе сжигания угля из его минеральных компонентов образуется зола и шлак. Зола в данном случае является легкой пылеобразной массой.

Такие отходы удаляются из сжигающих установок. На трубах стоят специальные золоуловители, а более тяжелые элементы золы оседают в печи. Шлаки, образовавшиеся в топке, измельчают. Периодически установку очищают от скопившейся золы и шлака, помещая эти отходы на специальные площадки – шлакоотвалы.

По федеральному классификационному каталогу [33] отходов, золошлаковые имеют 4 класс опасности, следовательно, считаются практически неопасными отходами, которые не угрожают состоянию окружающей среды.

В данной работе проведены исследования по применению золошлаковых отходов в качестве компонента для получения ячеистых бетонов. Использовали золошлаковые отходы, полученные после сжигания топливных брикетов из бурых углей Березовского разреза (СУЭК). В таблице 3.1.1 представлена техническая характеристика топливных брикетов СУЭК в соответствии с ТУ 19.30.12-004-21876995-2017 (Технические условия. Брикеты коммунально бытового назначения из мелочи коксовой).

Таблица 3.1.1 – Техническая характеристика топливных брикетов СУЭК

№ п/п	Наименование параметра	Значение
1	Производитель	ОА «Разрез Березовский»
2	Размеры брикета, мм	10-40 ±2
3	Низшая теплота сгорания рабочего топлива, ккал/кг, средняя	6000
4	Массовая доля серы общей, %	0,5
5	Массовая доля общей влаги в рабочем состоянии топлива, %, не более	9,5
6	Зольность на сухую массу, %	9,7
7	Выход летучих веществ, %	20,0
8	Гарантийный срок брикетов КНБ при условии соблюдения требований к хранению, месяцев	12,0

Химический состав золошлаковых отходов зависит от состава исходного сырья и технологических режимов его сжигания. Элементный состав золошлаковых отходов от сжигания брикетов представлен в таблице 3.1.2.

Таблица 3.1.2 – Элементный состав золошлаковых отходов

Наименование элемента	Содержание, масс. %
Ca	27,899
Si	4,8627
Cl	0,3782
Al	3,8338
K	0,7417
Fe	3,3211
S	3,2401
Mg	3,5050
Ti	0,7737
Na	0,7068

Окончание таблицы 3.1.2

Zn	1,7669
P	0,2503
Mn	0,1686
Ba	0,3821
O	47,163
Sr	0,8907
Cu	0,0082
Cr	0,0148
Pb	0,0915
Br	0,0070
Ni	0,0097

В таблице 3.1.3 представлен химический состав золошлаковых отходов, пересчитанный на оксиды.

Таблица 3.1.3 – Химический состав золошлаковых отходов, пересчитанный на оксиды

Наименование элемента	Содержание, масс. %
CaO	39,1
SiO ₂	10,4
Al ₂ O ₃	14,5
K ₂ O	1,8
Fe ₂ O ₃	9,5
SO ₃	4,9
MgO	13,9
TiO ₂	1,3
Na ₂ O	1,6
ZnO	4,8
P ₂ O ₅	1,1
SrO	1,1

Результаты рентгенофазового анализа показали, что основной кристаллической фазой, содержащейся в золошлаковых отходах, являются SiO₂

(13,3 масс. %); CaO (3,18 масс. %); CaCO₃ (55,7 масс. %); CaSO₄ (8,13 масс. %), также содержатся сложные алюмосиликатные соединения. Большое содержание карбонат кальция обусловлено взаимодействием оксида кальция с углекислым газом, содержащимся в атмосфере. Рентгенограммы золошлаковых отходов представлены на рисунке 3.1.1.

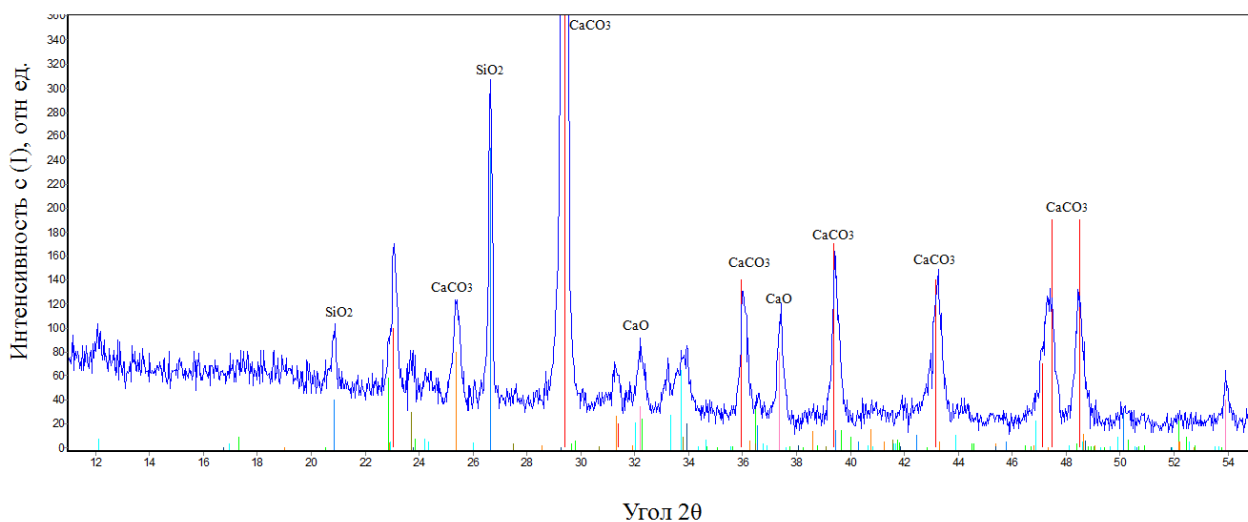


Рисунок 3.1.1 – Рентгенограммы золошлаковых отходов

Анализ результатов химического, минералогического состава золошлаковых отходов позволяет выявить перспективность их использования при производстве ячеистых бетонов в качестве заполнителя или смешанного вяжущего.

3.2 Характеристика основных материалов для получения ячеистых бетонов

Материалы для приготовления бетонных растворов должны отвечать всем требованиям, изложенным в Государственных и отраслевых стандартах на эти материалы.

Вяжущие вещества

Вяжущие вещества выбираются в зависимости от условий твердения и проектной прочности изделий из ячеистого бетона.

Согласно проведенному патентно-информационному поиску, установили, что для материалов неавтоклавного твердения в основном применяют *портландцемент* марки не ниже 400, отвечающий требованиям ГОСТ 10178 – 85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия». [34]

В работе использовали портландцемент марки М400 Красноярского цементного завода, химический и минералогический состав которого приведен в таблице 3.2.1 и 3.2.2.

Таблица 3.2.1 – Химический состав цемента

Наименование цемента	Химический состав, масс. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃
Красноярский портландцемент М400	20-22	5-6	5,0-5,7	63-65	1,1-1,3	0,7-0,8	1,5-2,5

Таблица 3.2.2 – Минералогический состав цемента

Наименование цемента	Минералогический состав, масс. %						
	3CaO SiO ₂	2CaO SiO ₂	3CaO Al ₂ O ₃	4CaO Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CaSO ₄ 2H ₂ O
Красноярский портландцемент М400	55-58	16-22	7,0-8,2	11,3- 16,2	1-1,2	-	3-5

Кремнеземистый компонент (песок)

В качестве мелкого заполнителя в работе использовали песок «Терентьевского» месторождения.

Применяемый в изготовлении изделий из ячеистого бетона кварцевый песок – согласно ГОСТ 8736 – 2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» [10] должен содержать не менее 75 % свободного кварца, не более 3 % илистых и глинистых примесей и не более 0,5 % слюды.

Основными показателями кварцевого песка в составе смеси для производства ячеистых бетонов являются гранулометрический состав и содержание в нем нежелательных примесей (пылевидных и глинистых частиц). В кварцевом песке не допускается наличие зерен более 10 мм в количестве

свыше 0,5 масс. %, а более 5 мм – свыше 10 масс. %. Количество частиц менее 0,16 мм не должно превышать 10 и 15 масс. % соответственно для крупных и мелких песков. Содержание пылевидных (менее 0,5 мм) и глинистых (менее 0,005 мм) частиц не должно превышать 3 – 5 масс. %.

Кварцевый песок Терентьевского месторождения по модулю крупности равному 0,68 относится к мелким пескам. Количество пылевидных и глинистых частиц находится в норме. В Терентьевском кварцевом песке количество крупных фракций менее 0,5 масс. %, то есть песок этого месторождения можно использовать без отсева.

Вода

Вода, применяемая для получения ячеистого бетона, должна удовлетворять требованиям ГОСТ 23732 – 2011 «Вода для бетонов и растворов. Технические условия». [14] Водородный показатель воды составляет 4 – 9 единиц.

Порообразующий агент

В технологии газобетонных изделий в качестве газообразователей используется алюминиевая пудра марок ПАП – 1 и ПАП – 2, соответствующая требованиям ГОСТ 5494-95. «Пудра алюминиевая. Технические условия» [12] с содержанием активного алюминия 91,1 – 93,9 % и временем активного (максимума) газовыделения в течение 3 – 4 мин от начала смешивания компонентов газобетонной массы. К пудре предъявляются требования по дисперсности, т.к. с дисперсностью связан процесс протекания газообразования в ячеистобетонной смеси, которая составляет 4600 – 6000 см²/г.

В работе применяли алюминиевую пудру марки ПАП–1, в качестве поверхностно-активного вещества использовали стиральный порошок.

3.3 Разработка состава газобетона с использованием золошлаковых отходов

В результате проведенного литературного обзора было выявлено, что основными факторами, влияющими на процессы формирования пористой структуры газобетона, а также его конечных физико-механических свойств, являются:

1. значение отношения кремнеземистого компонента к вяжущему компоненту в смеси (С);
2. содержание газообразователя и его вспенивающая способность;
3. водотвердое отношение (В/Т);
4. способ и условия твердения.

Отношение кремнеземистого компонента к вяжущему оказывает решающее значение на прочностные свойства газобетона. Выбор значения данного показателя определяется видом вяжущего компонента, а также способом твердения. Для безавтоклавного газобетона на цементном вяжущем показатель (С) варьируется от 0,75-1,25. В данной работе получали экспериментальные образцы с отношением кремнеземистого компонента к вяжущему, равному 1. [2]

На структуру и свойства газобетона влияние оказывает расход газообразователя и степень использования его порообразующей способности. Также значимым фактором является отношение воды затворения к массе твердого вещества, (В/Т), влияющие на текучесть растворной смеси, а следовательно, и на условия порообразования. Немаловажное значение имеет температура растворной смеси, поддерживаемая в процессе порообразования.

Текучесть раствора бетона оценивали на вискозиметре Суттарда путем измерения диаметра расплыва смеси. Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 3.3.1.

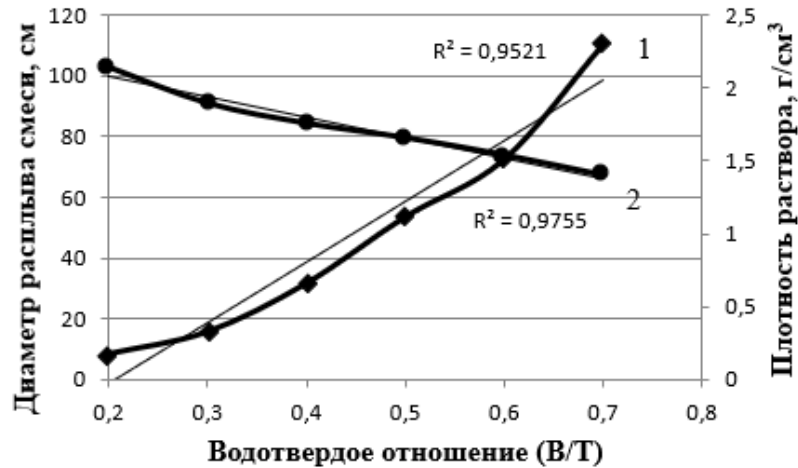


Рисунок 3.3.1 – Зависимость диаметра расплыва смеси по Сутттарду и плотности раствора смеси от водотвердого отношения

С увеличением В/Т текучесть растворной смеси значительно увеличивается, о чем свидетельствует увеличение диаметра расплыва смеси (линия 1), при этом плотность раствора уменьшается (линия 2). Повышение текучести способствует улучшению условий порообразования с увеличением пористости газобетона и одновременным уменьшением его плотности. При высоких значениях В/Т пластическая прочность смеси значительно уменьшается, что в свою очередь приводит к ухудшению удерживающей способности газобетона и, как следствие, его значительной осадке. Согласно литературным данным, для газобетонных смесей на цементном вяжущем при литьевой технологии В/Т отношение должно быть принято в пределах 0,4–0,5.

Исследование процессов газообразования проводили с использованием двух видов заполнителей цемента (состав 1) и золы, полученной после сжигания брикетов (состав 2). Вещественный состав твердой фазы газобетона (масс. %) представлен в таблице 3.3.1.

Таблица 3.3.1 - Вещественный состав газобетона

Компоненты газобетона	Содержание в масс. %	
	Состав 1	Состав 2
Портландцемент марки М400	40	25
Кварцевый песок	55	55

Окончание таблицы 3.3.1

Зола от сжигания брикетов	-	15
Гипс марки Г-6	5	5
Алюминиевая пудра ПАП-1	0,04–0,25	0,04–0,25

Помимо кремнеземистого компонента и вяжущего вещества в газобетон для стабилизации структуры вводили гипс марки Г-6 в количестве 5 масс. %, позволяющий за счет быстрого твердения удерживать пористую структуру сырца.

Газообразующий агент (алюминиевая пудра марки ПАП-1) вводилась в разогретую до 45-50°C растворную смесь в виде суспензии с добавкой поверхностно-активного вещества (стиральный порошок). Выявленная зависимость влияния количества газообразователя на коэффициент вспучивания представлена на рисунке 3.3.2.

Установлено, что при введении алюминиевой пудры в интервале 0,04–0,25 масс. % коэффициент вспучивания газобетона на портландцементе (состав 1) изменяется от 1,45 до 2,55. Коэффициент вспучивания газобетона на золе, полученной от сжигания брикетов (состав 2), при том же содержании алюминиевой пудры, изменяется от 1,89 до 3,32. Зола содержит до 15 % свободного оксида кальция, который повышает рН среды, способствуя более интенсивному газовыделению.

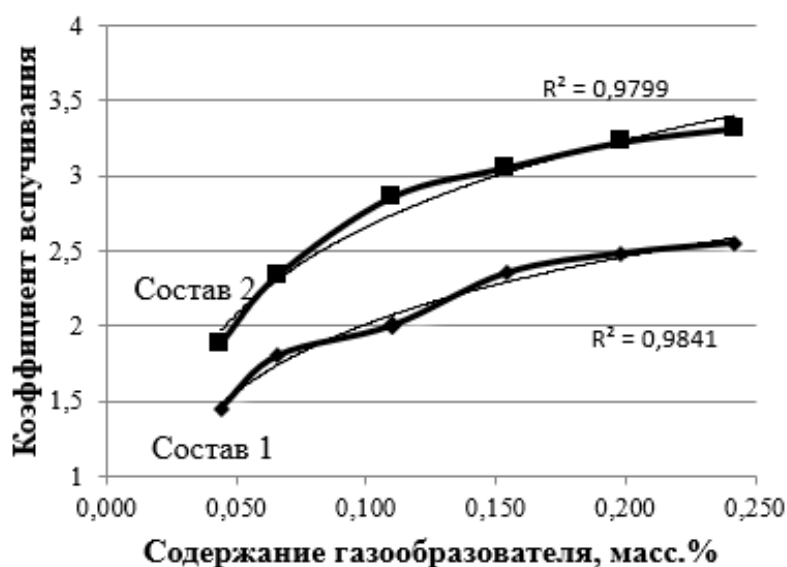


Рисунок 3.3.2 – Зависимость коэффициента вспучивания от содержания газообразователя

Проведенные исследования позволили установить взаимосвязь состава и технологических параметров с процессами формирования пористой структуры газобетона. Регулирование процессов вспучивания позволит контролировать плотность и пористость газобетона, что в свою очередь позволит получать изделия различного функционального назначения.

3.4 Оптимизация технологических параметров получения газобетона

Оптимизация технологических параметров получения газобетона проведена с использованием математического планирования, путем реализации полного факторного эксперимента 2^2 .

В качестве факторов воздействия, с учетом проведенного патентно-информационного поиска, выбраны:

- количество алюминиевой пудры в растворе, мас. % (X_1);
- водотвердое отношение В/Т (X_2).

В качестве параметров оптимизации выбраны:

- кажущаяся плотность, г/см³ (Y_1);
- водопоглощение, % (Y_2);
- прочность при сжатии, МПа (Y_3).

На основании априорной информации выбраны уровни и интервалы варьирования факторов. Факторы, влияющие на процесс получения газобетона, и интервалы их варьирования представлены в таблице 3.4.1.

Таблица 3.4.1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Уровни факторов			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
X ₁ – содержание алюминиевой пудры, масс. %	0,066	0,11	0,154	0,044
X ₂ – водотвердое отношение	0,3	0,4	0,5	0,1

На фиксированном уровне поддерживали вещественный состав бетонной смеси масс. %:

- кремнеземистый компонент молотый кварцевый песок (55);
- вяжущий компонент - портландцемент марки М 400 (40);
- гипс марки Г-6 (5);
- свыше 100% – вода и газообразователь.

Варьируя выбранными факторами, можно получать газобетон с различной плотностью и прочностью, относящийся по свойствам к теплоизоляционным и конструкционно-теплоизоляционным материалам.

План и результаты проведенных исследований для получения газобетонов представлен в таблице 3.4.2.

Таблица 3.4.2 – План и результаты экспериментов по получению газобетонов

Опыт	В безразмерном масштабе		В натуральном масштабе		Отклики		
	X ₁	X ₂	Содержание алюминиевой пудры, масс. %	Водотвердое отношение	ρ _{кж} , кг/м ³	W, %	R _{сж} , МПа
1	+1	+1	0,154	0,5	0,6	50	0,7
2	-1	+1	0,066	0,5	0,84	34	1,9
3	+1	-1	0,154	0,3	0,92	32	2
4	-1	-1	0,066	0,3	1,1	20	2,7

По полученным данным и методике, представленной выше, были рассчитаны уравнения регрессии для следующих параметров оптимизации:

- кажущаяся плотность $\rho_{\text{кж}}$, г/см³ (Y_1);
- водопоглощение W , % (Y_2);
- прочность при сжатии $R_{\text{сж}}$, МПа (Y_3).

Проведем анализ полученных уравнений регрессий.

Уравнение регрессии для кажущейся плотности имеет вид:

$$Y_1 = 0,865 - 0,105X_1 - 0,145X_2 \quad (3.1)$$

Анализ полученного уравнения регрессии показывает, что увеличение количества концентрации газообразователя X_1 приводит к уменьшению кажущейся плотности. В свою очередь, увеличение водотвердого отношения тоже приведет к уменьшению кажущейся плотности, об этом также свидетельствует знак «-». Однако, максимальное значение коэффициента по модулю стоит перед X_1 , значит содержание алюминиевой пудры оказывает на кажущуюся плотность наибольшее влияние.

Уравнение регрессии для водопоглощения имеет вид:

$$Y_2 = 34 + 7X_1 + 8X_2 \quad (3.2)$$

На водопоглощение образцов в данном уравнении регрессии наибольшее влияние оказывает водотвердое отношение, при его увеличении водопоглощение увеличивается. Аналогичное влияние оказывает содержание алюминиевой пудры, но в меньшей степени.

Уравнение регрессии для прочности при сжатии имеет вид:

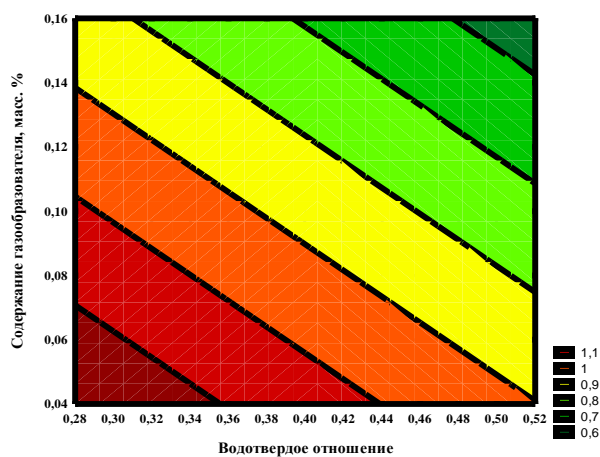
$$Y_3 = 1,825 - 0,475X_1 - 0,125X_2 \quad (3.3)$$

Максимальное значение коэффициента, стоящего перед X_2 , говорит о том что, наибольшее влияние на прочность образцов при сжатии оказывает водотвердое отношение. Знак (-) перед коэффициентом, свидетельствует о

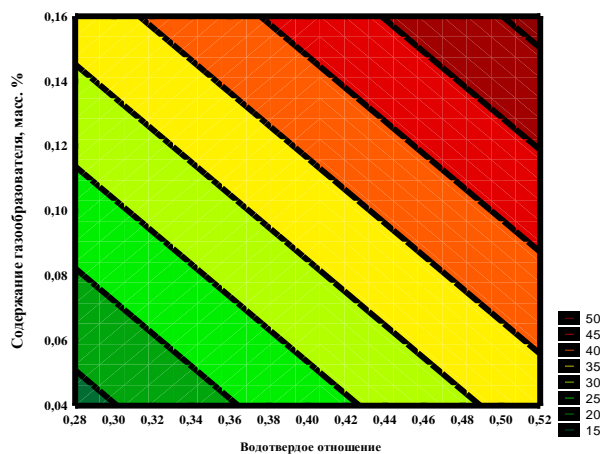
уменьшении прочности при увеличении водотвердого отношения. Аналогичное влияние оказывает содержание алюминиевой пудры, но в меньшей степени.

3.4 Обработка результатов исследования

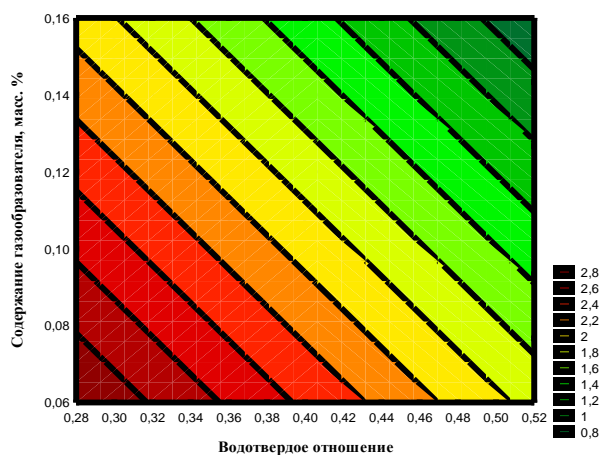
Для удобства восприятия установленных закономерностей в программе «Статистика» построены графики зависимости основных факторов воздействия и параметров оптимизации, которые представлены на рисунке 3.4.1.



а)



б)



В)

Рисунок 3.4.1 – Зависимость кажущейся плотности (а), водопоглощения (б) и прочности при сжатии (в) от количества алюминиевой пудры и водотвердого отношения

Установлено, что при увеличении содержания алюминиевой пудры и увеличении водотвердого отношения, в исследуемых интервалах, наблюдается общая тенденция уменьшения кажущейся плотности от 1,1 до 0,6 кг/м³ и увеличения водопоглощения образцов от 20 до 50 %. Это связано с тем, что повышенное содержание алюминиевой пудры способствует увеличению коэффициента вспучивания, особенно данный эффект проявляется в более текучих массах с большим значением водотвердого отношения. Прочность образцов при сжатии, в свою очередь, находится в обратной зависимости, следовательно, максимальная прочность, обуславливающая конструктивно-теплоизоляционные свойства газобетонов, в интервале от 0,7 МПа до 2,7 МПа и выше, достигается на минимальных уровнях значений факторов.

3.5 Модифицирование бетонов нановолокнами оксида алюминия

Для совершенствования качества бетонов применяют модифицирующие добавки наночастиц, благодаря которым достигаются высокие показатели прочности и плотности материала за счет сокращения промежуточной зоны

между матрицей и заполнителем, добавки для обеспечения подвижности и понижения количества воды. [35]

Для улучшения физико-механических свойств бетонов применяли нановолокна оксида алюминия. [36] Нановолокна хорошо смачиваются большинством растворителей и образуют стабильные дисперсии, как в воде, так и в спиртах или растворах КПАВ, при этом, водные коллоиды нановолокон оксида алюминия активно коагулируют в растворах АПАВ. Отжиг нановолокон оксида алюминия приводит к удалению адсорбата воды и разрушению $AlO(OH)$ на их поверхности. В совокупности массовая доля воды в химически и физически связанном состоянии в нановолокнах оксида алюминия с содержанием 5-6 масс. %. В зависимости от диаметра нановолокон удельная поверхность может варьироваться от 54 до 210 m^2/g . Коллоид 2% получают в 0,5 л в штоковой ультразвуковой установке мощностью 1,5 кВт в течение 15 минут, 20% концентрат готовили в 100 мл раствора с добавлением ПАВ в ультразвуке. [37]

В данном исследовании были изготовлены образцы легкого бетона следующего вещественного состава, масс. %: портландцемент – 34, песок – 30, золошлаковые отходы – 30, гипс – 6, с добавкой нафена в количестве 0,1; 0,5; 0,9 масс. %. Результаты испытания прочности при сжатии экспериментальных образцов легкого бетона на 28 суток представлены в таблице 3.5.1.

Таблица 3.5.1 – Зависимость плотности и прочности при сжатии образцов от содержания нановолокон оксида алюминия

Содержание нановолокон, масс. %	Плотность бетона, kg/m^3	Прочность при сжатии $R_{сж}$, МПа
0	1310	5,4
0,1	1270	5,5
0,5	1240	5,6
0,9	1200	6,2

Установлено, что с увеличением содержания нановолокон оксида алюминия в составе бетонов от 0 до 0,9 масс. %, прочность при сжатии

образцов на 28 сутки твердения увеличивается на 15 % при этом плотность бетонов уменьшается с 1310 до 1200 кг/м³.

По результатам проведенных исследований получены образцы газобетона на основе золошлаковых отходов, физико-механические показатели которых представлены в таблице 3.5.2.

Таблица 3.5.2 – Физико-механические свойства образцов ячеистых бетонов

Наименование показателя	Стандартный образец	Газобетон
Плотность, кг/м ³	900	1000
Морозостойкость, цикл	Не менее 15	Не менее 15
Предел прочности при сжатии, МПа	2-5	3,2

Макроструктура образцов газобетона представлена на рисунке 3.5.1.



Рисунок 3.5.1 – Макроструктура образцов газобетона

Образцы газобетона по физико-механическим показателям полностью соответствуют требованиям ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия» [38] и относятся к ячеистым бетонам конструкционно-теплоизоляционного назначения.

4 Охрана труда и окружающей среды

4.1 Характеристика работы

Исследовательская работа проводилась в лаборатории кафедры «Композиционных материалов и физико–химии металлургических процессов СФУ».

Целью работы являлась разработка составов и исследование технологических режимов получения ячеистых бетонов с использованием золошлаковых отходов.

При проведении исследований в рамках научно-исследовательской работы на организм человека воздействовали вредные и (или) опасные факторы производственной среды, к которым относятся запыленность, шум, вибрация (общая, локальная), параметры микроклимата, электрический ток. Воздействие данных факторов может привести к травмированию, профессиональному заболеванию, результатами которых являются временная или полная утрата трудоспособности. Для уменьшения их воздействия необходимо соблюдать правила охраны труда.

С целью оценки воздействия вредных и (или) опасных факторов при проведении экспериментальных исследований проанализированы условия состояния охраны труда, противопожарная и электробезопасность, условия окружающей среды:

- освещенность рабочей среды;
- параметры микроклимата;
- запыленность рабочей среды;

В настоящее время оптимизируют технологические процессы на предприятиях, внедряют мероприятия, направленные на уменьшение степени воздействия вредных и (или) опасных факторов, влияющих на состояние окружающей среды и человека.

4.2 Анализ условий проведения эксперимента

При проведении экспериментальных исследований необходимо произвести подготовку сырьевых материалов, которая состоит из следующих этапов:

- измельчение материалов в кольцевой мельнице ROCKLABS;
- рассеивание исходных компонентов золошлаковых отходов в вибросите;
- взвешивание золошлаковых отходов на электронных весах VIBRA АН-220 СЕ;
- смешивание в лабораторной посуде;
- формование;
- твердение в естественных условиях.

Перечень опасных и вредных факторов приведен в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1 – Опасные и вредные факторы при проведении исследования

Операции технологического процесса	Наименование оборудования	Наименование опасного или вредного фактора	Единицы измерения	Величина фактора	Норматив СанПиН, ГОСТ
Измельчение	Кольцевая мельница	Эквивалентный уровень звука	дБА	92	80
		Пыль	мг/м ³	4,5	6
		Вибрация общая	дБ	96	112; 112; 115
Рассев	Вибросито	Эквивалентный уровень звука	дБА	98	80
		Пыль	мг/м ³	5	6
		Вибрация общая	дБ	230	112; 112; 115
		Напряжение в сети	В	220	230
Взвешивание	Электро-весы	Частота в сети	Гц	50	50
		Пыль	мг/м ³	5	6
		Напряжение в сети	В	230	230
Смешивание	Лабораторная посуда	Пыль	мг/м ³	5	6
Определение водопоглощения и кажущейся плотности	Электро-весы Микрометр	Напряжение в сети	В	230	230
		Мощность в сети	Гц	50	50

Все нормативные величины вредных факторов выбраны по СанПиН 2.1.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [39], ГОСТ 29322-2014 «Напряжения стандартные». [40]

4.3 Физико-химическая и токсикологическая характеристики применяемых материалов

При выполнении работы применяли следующие материалы: портландцемент, кварцевый песок, золошлаковые отходы.

Согласно ГОСТ Р 57789-2017 «Золы, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС для производства искусственных пористых заполнителей» [41], золошлаковая смесь это – полидисперсная смесь из золы и шлака, образующаяся при их совместном складировании на тепловых электростанциях. Зола – тонкодисперсный материал с размером частиц менее 0,315 мм (основную фракцию составляют частицы с размером 0,08 мм), образующийся из минеральной части твердого топлива, сжигаемого в пылевидном состоянии, и улавливаемый золоулавливающими устройствами из дымовых газов тепловых электростанций.

Согласно ГОСТ 31108-2020 «Цементы общестроительные. Технические условия» [42] для общестроительных цементов применяют портландцементный клинкер, в котором суммарное содержание трехкальциевого и двухкальциевого силикатов составляет не менее 2/3 массы клинкера, а массовое отношение оксида кальция к оксиду кремния не менее 2,0.

Кварцевый песок – это материал, получаемый дроблением и рассевом кварца молочно – белого цвета, отличается мономинеральностью, однородностью, высокой межзерновой пористостью и грязеемкостью.

Используемые материалы в течение длительного времени особого воздействия на организм человека не оказывают. В работе производилось измельчение компонентов до размеров <0,056 мкм. В процессе работы

выделяется пыль, а запыленность оказывает вредное воздействие на организм человека. Пыль может вызвать глазные и кожные заболевания, болезни дыхательных путей и легких. По СанПиН 2.1.3685-21 предельно допустимая концентрация (среднесуточная) нетоксичной пыли в воздухе ПДКс.с.=0,15 мг/м³. [39] Для предотвращения загрязнения воздуха пылью порошков в лаборатории применяются средства коллективной и индивидуальной защиты: общеобменная вентиляция, халаты лабораторные, защитная маска, лабораторные перчатки.

4.4 Санитарно – технические требования к помещениям

Санитарно – технические требования к производственным помещениям и рабочим местам изложены в строительных нормах и правилах (СН и П) и Санитарных нормах проектирования предприятий (СН). Для оценки соответствия санитарно – техническим требованиям производственного помещения необходимо произвести измерения и соответствующие расчеты значений вентиляции по способу воздухообмена, световой среды, параметров микроклимата, эквивалентного уровня звукового давления. При выполнении работы необходимо соблюдать правила пожарной безопасности и электробезопасности.

4.4.1 Параметры световой среды в помещении

Исследовательская работа проводится в лаборатории, имеющую площадь 39,75 м², высоту 3,5 м. Естественное освещение осуществляется через боковые оконные проемы общей площадью ≈10,88 м².

Основная характеристика элементов лабораторного помещения представлена в таблице 4.4.1.1.

Таблица 4.4.1.1 – Характеристика лабораторного помещения

Элементы, характеризующие помещение	Единицы измерения	Нормативные параметры	Существующие в лаборатории
1	2	3	4
Объем производственного помещения на одного работающего	м ³	15	69,51
Площадь на каждого работающего	м ²	4,5	19,86
Высота помещения	м	3,2	3,5
Площадь оконных проемов	%	20-80	25

Оцениваемые параметры лабораторного помещения соответствуют нормативным значениям.

Параметры световой среды оценивают для снятия более точных показаний с лабораторных приборов. Естественное освещение создается за счет рассеянного, а также отраженного от потолка, стен и поверхностей предметов, солнечного света. Зависит от ряда факторов, в первую очередь, от светового климата местности и характеризуется коэффициентом естественной освещенности (КЕО, %).

Во всех производственных помещениях дополнительно устраивается искусственное освещение различных спектров свечения. Основным гигиеническим требованием к нему является необходимая и достаточная интенсивность, равномерность, отсутствие блескости и резких теней.

4.4.1.1 Расчет естественного освещения

Данную работу стоит отнести к точной работе, так как наименьший размер объекта различения 0,03 – 1 мм. Это соответствует III разряду зрительной работы по СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакции СНиП 23-05-95» [43]. Для оценки качества естественного освещения, необходимо расчетное значение коэффициента естественной освещенности e_p сравнить с нормированным e_n ,

определенным с учетом характера зрительной работы, системы освещения, района расположения здания на территории России.

Нормированное значение коэффициента естественной освещенности определяется по формуле:

$$e_n = e_n \cdot m_n, \quad (4.1)$$

где n – номер группы обеспеченности естественным светом, Красноярск относится ко второй группе административных районов, $n=2$;

e_n – значение КЕО, при боковом освещении КЕО=1,5%.

m_n – коэффициент светового климата, $m_n = 0,9$.

$$e_2 = 1,5 \times 0,9 = 1,35\%. \quad (4.2)$$

Расчетный коэффициент естественной освещенности при боковом освещении определяется по формуле:

$$e_p = 100 \times \frac{S_0}{S_n} \cdot \frac{\tau_0 \cdot r_1}{\eta_0 \cdot k_{\zeta.а.} \cdot k_{\zeta}}, \quad (4.3)$$

где S_0 – площадь световых проемов, m^2 ;

S_n – площадь пола помещения, m^2 ;

η_0 – световая характеристика помещения ($\eta_0 = 9$);

τ_0 – общий коэффициент светопропускания ($\tau_0 = 0,5$);

r_1 – коэффициент, учитывающий влияние отраженного света при боковом освещении ($r_1 = 2$);

$K_{з.}$ – коэффициент запаса ($K_{з.} = 1,3$);

$K_{з.д.}$ – коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями ($K_{з.д.} = 1,4$).

$$e_p = 100 \times \frac{10,88}{39,75} \cdot \frac{0,5 \cdot 2}{9 \cdot 1,4 \cdot 1,3} = 1,67 \% , \quad (4.4)$$

Таким образом, расчетный коэффициент естественного освещения больше нормативного ($1,67 > 1,35$), следовательно, в лаборатории обеспечена необходимая освещенность.

4.4.1.2 Расчет искусственного освещения

В лаборатории используются пять ламп (люминесцентных) мощностью 40 Вт.

Согласно данным СП 51.13330.2011 [44] при III разряде работ, среднем контрасте и среднем фоне работ при одном общем освещении лаборатории наименьшая освещенность рабочего места 300 люкс.

Фактическая освещенность рассчитывается по формуле:

$$E = \frac{F \cdot N \cdot n}{S \cdot K} , \quad (4.5)$$

где E – искусственная освещенность, лк;

F – мощность одной лампы, Вт;

S – площадь комнаты, м²;

n – коэффициент световой отдачи ($n = 18$);

K – коэффициент запаса для лабораторного помещения ($K = 1,3$);

N – количество ламп накаливания.

$$E = \frac{40 \cdot 5 \cdot 18}{39,75 \cdot 1,3} = 69,67 \quad (4.6)$$

Этого освещения в лаборатории недостаточно для выполнения исследовательской работы, потому необходимо дополнительное искусственное освещение (настольная лампа).

Рассчитаем какую мощность должны иметь установленные лампы, чтобы освещенность лаборатории соответствовала нормативному значению.

$$F = \frac{E \cdot S \cdot K}{N \cdot n} \quad (4.7)$$

$$F = \frac{300 \cdot 39,75 \cdot 1,3}{5 \cdot 18} = 172,25 < 200 \text{ Вт}, \quad (4.8)$$

Предполагаемая фактическая освещенность:

$$\dot{A} = \frac{200 \cdot 5 \cdot 18}{39,75 \cdot 1,3} = 348 \quad (4.9)$$

Данный расчет позволяет решить проблему недостаточного освещения при использовании пяти ламп накаливания мощностью 200Вт.

4.4.2 Параметры микроклимата помещений

Под микроклиматом помещения понимается климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей.

Длительное воздействие на человека неблагоприятных метеорологических условий резко ухудшает самочувствие, снижает производительность труда и часто приводит к различным заболеваниям.

Высокая температура способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару или профзаболеванию. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания.

Влажность воздуха оказывает значительное влияние на терморегуляцию организма человека. Высокая влажность воздуха высокой при температуре способствует перегреванию организма, при низкой же температуре она усиливает теплоотдачу с поверхности кожи, что приводит к переохлаждению организма.

Подвижность воздуха усиливает теплоотдачу, т.к. увеличивается скорость испарения с поверхности кожи человека. Подвижность воздуха положительно проявляется при высоких температурах, но отрицательно при низких.

Характеристики микроклимата в помещении в соответствии с ГОСТ 12.1.005 – 88 [45] представлены в таблице 4.4.2.1.

Таблица 4.4.2.1– Показатели микроклимата в холодный период при легкой категории работ

Факторы	Действительные значения	Нормативные значения
Микроклимат:		
температура воздуха, °С	20 - 22	20 - 23
относительная влажность, %	45	75
скорость движения воздуха, м/с	0,15	<0,2
Освещение:		
естественное, %	0,42	2
искусственное, лк	348	300

4.4.3 Воздухообмен в помещении

В соответствии с СП 60.13330.2020 [46] «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» определяем необходимое количество приточного воздуха.

Количество приточного воздуха определяется по формуле:

$$L_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{я}} - L_{\text{ух}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{рз}} - t_{\text{пр}}) \cdot \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{ух}} - t_{\text{пр}})} + L_{\text{ух}}, \quad (4.10)$$

где $Q_{\text{я}}$ – избытки явной теплоты в помещении лаборатории, кВт;

$L_{\text{ух}}$ – количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны местными отсосами и общеобменной вентиляцией;

$C_{\text{в}}$ – теплоемкость воздуха ($C_{\text{в}}=1,005$ кДж/(К кг));

$t_{\text{рз}}$ – температура рабочей зоны, °С;

$t_{\text{пр}}$ – температура приточного воздуха, °С;

ρ_A – плотность воздуха ($\rho_A=1,29$ кг/м³);

t_{yx} – температура воздуха, удаляемого из верхней зоны помещения, °С.

$$t_{yx} = \frac{t_{PЗ} - (1 - m)t_{ПП}}{m}, \quad (4.11)$$

где m – коэффициент, определяемый в зависимости от отношения площади, занимаемой тепловыделяющим оборудованием $F_{об}$ к площади помещения F_n .

В лаборатории для обжига заготовок используется электрическая печь площадью 1,05 м².

$$F_{об}/F_n=1,55/39,75= 0,04; m= 0,25; \quad (4.12)$$

$$t_{yx} = \frac{22 - (1 - 0,25) \cdot 20}{0,25} = 28 \quad ^\circ\text{C}. \quad (4.13)$$

Тепловыделение обжиговой печи определяется по формуле:

$$Q_я = N \times n \times a, \quad (4.14)$$

где N – мощность печи (3 кВт);

n – количество печей;

a – коэффициент, принимаемый для электрических печей – 0,7.

$$Q_я = 3 \times 1 \times 0,7 \times 0,1 = 0,21 \text{ кВт}.$$

Количество воздуха, удаляемого общеобъемной вентиляцией и местными отсосами определяется по формуле:

$$L_{yx} = \frac{m \cdot Q_я}{\rho_B C_B \cdot (t_{PЗ} - t_{пр})} + (1 - m), \quad (4.15)$$

$$L_{yx}^M = \frac{0,25 \cdot 0,21}{1,29 \cdot 1,005 \cdot (22 - 20)} + (1 - 0,25) \cdot 4,8 \cdot 10^{-3} = 0,09 \text{ м}^3/\text{с},$$

где L_{yx}^M – количество воздуха, удаляемого местными отсосами ($4,8 \cdot 10^{-3}$ м³/с).

Определим количество приточного воздуха по формуле:

$$L_{пр} = \frac{0,21 - 0,09 \cdot 1,005(22 - 20) \cdot 1,29}{1,29 \cdot 1,005(28 - 20)} + 0,09 = 0,09 \text{ м}^3/\text{с}. \quad (4.16)$$

Расчет кратности воздухообмена K :

$$K = \frac{3600 \cdot L_{пр}}{V}, \quad (4.17)$$

где V – объем помещения: площадь 39,75 м², высота 3,5м.

$$V = 39,75 \times 3,5 = 139,125 \text{ м}^3 \quad (4.18)$$

$$K = \frac{3600 \cdot 0,09}{139,125} = 2,3 \text{ 1/ч} \quad (4.19)$$

4.4.4 Мероприятия, направленные на снижение воздействия вредных и опасных факторов

При проведении экспериментальных исследований факторы производственной среды оказывали воздействие на организм человека.

При формовании, измельчении и рассеве материала вредным фактором является шум от производственного оборудования. Шум - совокупность звуков, различных по частоте и интенсивности, вредно влияющих на организм человека. В соответствии с СанПиН 2.1.3685-21 нормативный уровень шума (звукового давления) – 80 дБА. [39]

Он оказывает негативное влияние на организм человека: расстраивает ЦНС, вызывает изменение скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечно – сосудистых заболеваний, гипертонической болезни, может привести к профессиональным заболеваниям (тугоухость), так же происходит снижение сопротивляемости организма инфекционным и простудным заболеваниям. Под действием шума у человека изменяется активность головного мозга, снижается внимание и быстрота реакции, теряется слуховая чувствительность, увеличивается восприимчивость к простудным и инфекционным заболеваниям, снижается острота зрения, ухудшается качество работы.

Для предотвращения воздействия шума на организм человека необходимо применять средства коллективной) экранирование источника шума) и индивидуальной защиты (СИЗ).

При работе с печью опасными факторами являются: тепловое излучение и нагретая поверхность печи, что при воздействии на человека может вызвать ожоги. По действующим санитарным нормам температура нагретых поверхностей не должна превышать 45 °С. Наиболее эффективный способ защиты от излучения – экранирование с помощью шамотного кирпича. В результате температура наружных стенок печи не превышает 40°С, что полностью исключает возможность термического ожога, уменьшает тепловое излучение. В соответствии с ГОСТ 12.1.005 – 01 нормативное значение тепловыделений 348 Вт/м².

4.5 Соответствие требованиям пожарной безопасности

Лабораторное помещение, в котором проводилась данная работа, по пожарной и взрывной безопасности, в соответствии со СНиП 2 – 09 – 02 – 97, можно отнести к категории "Г", которая характеризуется как производства, имеющие несгораемые вещества и материалы в горячем, раскаленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистой теплоты.

Лабораторию можно отнести к помещениям повышенной опасности, так как имеется токопроводящий железобетонный пол, высокая температура печи, возможность прикосновения к горячим металлическим частям оборудования. Для уменьшения воздействия необходимо осуществлять противопожарные меры.

Организационные мероприятия включают в себя:

а) проведение противопожарного инструктажа и занятий по пожарной безопасности;

б) создание комиссии, задачами которой является выявление возможных нарушений и недостатков работы в лаборатории, из-за которых могут возникнуть пожарные ситуации.

В случае нарушения требований пожарной безопасности и возникновения пожара эффективное тушение достигается путем применения газовых углекислотных огнетушителей ОУ-2, в которых рабочим веществом является двуокись углерода, имеющая низкую электропроводность и ящики с песком, находящиеся около лаборатории.

4.6. Соответствие требованиям электробезопасности

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока и электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества в соответствии с ГОСТ 12.1.009. «Электробезопасность установок» [47] обеспечивается: конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты, организационными и техническими мероприятиями. К организационным мероприятиям относятся инструктажи и обучение безопасным методам труда, проверка знаний правил безопасности и инструкций, допуск к проведению работ, контроль работ ответственным лицом. Технические мероприятия предусматривают отключение установки от источника напряжения, снятие предохранителей и другие меры, обеспечивающие невозможность ошибочной подачи напряжения к месту работы, установку знаков безопасности и ограждения остающихся под напряжением токоведущих частей, рабочих мест и др.

Проходя через организм, электрический ток вызывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие. В соответствии с ГОСТ 12.1.009. пороговые значения различных видов тока представлены в таблице 4.6.1. [47]

Таблица 4.6.1 – Пороговые значения различных видов тока

Вид электрического тока, протекающего через организм человека*	Сила тока, мА	
	Переменный ток	Постоянный ток
Ощутимый – вызывает ощутимые раздражения	0,6-1,5	5-7
Неощутимый – вызывает непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник	10-15	50-60
Фибрилляционный с- вызывает фибрилляцию сердца	100	300
<i>*Мгновенная остановка сердца наступает при силе тока, равной 5А</i>		

По ПУЭ и ГОСТ 12.1.030 – 01 в электроустановках переменного тока напряжением до 1000 В, в сети с изолированной нейтралью или с изолированным выводом источника однофазного тока, сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4 Ом. Для безопасности работы в лаборатории предусмотрены следующие мероприятия по защите от поражения электрическим током:

- для подачи питания на установки, выдерживающие большой ток, применяются медные провода;
- все установки отключаются общим рубильником, в котором имеются плавкие предохранители на случай короткого замыкания;
- оборудование окрашивается, что предотвращает протекание значительного тока в случае пробоя на корпусе;
- соединительные провода экранируются и изолируются;
- на установках наносятся предупреждающие надписи;
- применение метода защитного зануления;
- применение метода защитного отключения;
- применение средств индивидуальной защиты.

Также необходимо соблюдать инструкцию по работе с электрооборудованием:

- к работе допускаются лица не моложе 18 лет, с образованием не ниже 11 классов после прохождения обучения и сдачи экзаменов по охране труда;
- работать разрешается только в спец. одежде;
- в случае пожара выключить установку и тушить твердой углекислотой;
- при обнаружении опасности для себя и окружающих, следует немедленно выключить установку и предупредить руководителя работ об опасности;
- проведение работ разрешается только при полной исправности установки.

4.7 Охрана окружающей среды

В настоящее время, в связи с быстрыми темпами развития многих отраслей промышленности, большое внимание уделяется охране природы и окружающей среды, на которые антропогенный фактор оказывает воздействие. Для этого необходимо разрабатывать новые или усовершенствовать существующие инженерно-технические средства защиты окружающей среды с целью максимального снижения массы, объема концентрации загрязнений, развивать безотходные и малоотходные технологические циклы и производства.

Окружающая среда характеризуется совокупностью факторов, способных при определенных условиях оказывать прямое или косвенное воздействие на деятельность и здоровье человека.

Нормативно-правовая база в области охраны труда и экологии заключена в ФЗ, постановлениях, приказах, ГОСТ, СанПиН, ССБТ и других нормативных актах. Необходимо осуществлять мероприятия, направленные на уменьшение экологического воздействия. Для это применяют усовершенствованные методы, которые направлены на:

- минимизацию отходов производства;

- замену не утилизируемых отходов утилизируемыми отходами;
- замену токсичных отходов нетоксичными отходами;
- создание безотходной технологии на базе замкнутых технологических процессов, при которых отходы каждого предыдущего процесса являются сырьем для последующего процесса.

Внедрение технологического процесса по исследовательской работе в производство сопровождается загрязнением окружающей среды, которое происходит за счет загрязнения воздуха пылью от используемых материалов. В золошлаковых отходах содержится значительное количество опасных элементов, которые негативно воздействуют на все компоненты окружающей среды, создавая опасность загрязнения содержащимися в них токсичными веществами и тяжелыми металлами. Вынос золошлакового материала способствует загрязнению приземного слоя атмосферы, а ассимиляция твердых частиц приводит к загрязнению почв и грунтов. При производстве данных материалов на предприятии, количество пыли больше, чем при исследованиях. Наибольшую опасность представляет мелкодисперсная пыль, так как она не оседает в воздухе производственных помещений, находится во взвешенном состоянии и легко проникает в легкие человека, при этом может вызывать глазные и кожные заболевания, болезни верхних дыхательных путей и легких. В связи с этим, на производстве необходимо устанавливать пылеулавливатели для очистки воздуха от пыли, выбрасываемой в атмосферу. В качестве очистных устройств, применяем циклоны (степень очистки 95-96%), которые надежны и просты в эксплуатации, имеют небольшие размеры и достаточно высокую степень очистки, не требуют больших капиталовложений и потребляют малое количество электроэнергии.

5 Экономическая часть

5.1 Смета затрат на выполнение работы

Смета затрат на проведение научно-исследовательской работы дает общий свод всех расходов, связанных с проведением данной работы. Смета затрат включает следующие элементы:

- материальные расходы;
- расходы на оплату труда;
- отчисления на социальные нужды;
- сумма начисленной амортизации;
- прочие расходы.

5.1.1 Материальные расходы

Материальные расходы приведены в таблице 5.1.1.1.

Таблица 5.1.1.1 – Материальные расходы

Материал	Количество	Цена, руб/кг	Стоимость, руб.
Золошлаковые отходы, кг	20	0	0
Песок, кг	10	80	80
Портландцемент, кг	10	238	238
Спирт этиловый, л	0,1	110	11
Вата, упаковка	0,5	110	55
Пипетка медицинская, шт	1	10	30
Перчатки медицинские, пар	6	40	240
Маска, шт	6	10	60
ИТОГО	-	-	714

Затраты на электроэнергию C_3 определяем по формуле:

$$C_3 = M \times T_{\phi} \times K_M \times K_T \times C_{\phi}, \quad (5.1)$$

где M – суммарная установленная мощность оборудования, кВт-час;

T_{ϕ} – фактически отработанное студентом время на этом оборудовании, час;

Км, Кт – коэффициенты использования оборудования по мощности и времени соответственно, доли ед. (Км= 0,8; Кт = 0,8);

Ц_э – цена за 1кВт-ч электроэнергии, руб/кВт-час.

Данные о затратах на технологическую энергию приведены в таблице 5.1.1.2.

Таблица 5.1.1.2 – Энергетические затраты

Наименование оборудования	Мощность кВт	Тф, ч	Цена 1 кВт, руб	Стоимость, руб
Кольцевая мельница ROCKLABS	1,1	3	3,97	13,101
Весы RV214 весы OHAUS	0,015	50	3,97	2,978
Пресс механический	1,2	25	3,97	119,100
Весы лабораторные VIBRA AJH-220 CE	0,015	45	3,97	2,680
Вибропривод ВПТ 220	0,5	4	3,97	7,940
Итого				144,799

5.1.2 Расходы на оплату труда

При составлении сметы затрат учитывается заработная плата научного руководителя в расчете на одного дипломника и стипендия дипломника, результаты расчетов представлены в таблице 5.1.2.1.

Таблица 5.1.2.1 – Расходы на оплату труда руководителя и консультантов

Сотрудник	Месячная заработная плата, руб.	Количество часов, затраченных на работу с дипломником	Стоимость часа, руб.	Сумма, руб.
Исполнитель	5200	-	-	15600,00
Научный руководитель	40000	22	277,78	6111,16
Консультант по экономике	40000	2	250,00	500,00
Консультант по охране труда	40000	2	250,00	500,00
ИТОГО				22711,16

5.1.3 Отчисления на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды 30% от суммы оплаты труда:

$K_c = 22711,16 \times 0,3 = 6816,348$ руб.

5.1.4 Сумма начисленной амортизации

Расходы, связанные с использованием оборудования, определяются по формуле:

$$A_m = C / C_{\text{ши}}, \quad (5.2)$$

где C – первоначальная или текущая рыночная стоимость объекта НМА;

$C_{\text{ши}}$ – срок полезного использования объекта в месяцах.

Сводные результаты об амортизационных расходах приведены в таблице 5.1.4.1.

Таблица 5.1.4.1 – Амортизационные отчисления

Наименование оборудования	С, руб	Спи, мес	Ам, руб	Время использования, мес	Сумма, руб
Кольцевая мельница ROCKLABS	1000000	120	8333,3	3	25000
Весы RV214 весы OHAUS	23900	60	398,4	3	1195
Пресс механический	520000	120	4333,3	3	13000
Весы лабораторные VIBRA AJH-220 CE	71700	60	1195,0	3	3585
Вибропривод ВПТ 220	27500	120	229,17	3	688
Итого					43468

5.1.5 Прочие расходы

Данный тип расходов включает в себя накладные расходы, которые принимаются в размере 25% от учтенной суммы затрат на данную работу.

$$НР = 73854,4 \times 25 = 18463,6 \text{ руб.}$$

5.1.6 Общая сумма затрат

Полная смета затрат на выполнение научно-исследовательской работы приведена в таблице 5.1.6.1.

Таблица 5.1.6.1 – Смета затрат

Статьи расходов	Сумма затрат, руб.
Материальные расходы	714,00
Расходы на оплату труда	22711,16
Отчисления на социальные нужды	6816,348
Сумма начисленной амортизации	43468,00
Прочие расходы	18463,30
ИТОГО	92172,81

5.2 Оценка экономической эффективности результатов работы

В работе выявлены оптимальные технологические параметры для получения газобетона с использованием техногенных отходов на основе золошлаковых отходов от сжигания углей.

В настоящее время современная строительная индустрия нуждается в дешевых и практичных материалах. Наиболее перспективным направлением снижения себестоимости строительных материалов и повышения их физико-механических показателей является замена традиционных сырьевых материалов на техногенные продукты. Использование отходов не только позволит найти новые источники сырьевых материалов, но и решить ряд экологических проблем.

На сегодняшний день актуальной проблемой является утилизация золошлаковых отходов от сжигания углей. Ежегодные объемы образования составляют примерно 22 млн тонн в год. Общий объем накопленных отходов оцениваются в пределах 1,5 млрд тонн. При этом использование золошлаковых отходов в качестве вторичного материального ресурса не превышает 3 млн. тонн.

Существующая технология получения ячеистых бетонов, применяемых для внутренней и наружной отделки зданий и сооружений, основывается в значительной мере на использовании традиционных сырьевых материалов (песок, портландцемент, гипс.). Ежегодное накопление значительного количества отходов различных отраслей промышленности, возможность

интенсификации технологических процессов, повышения эксплуатационных свойств материалов, получаемых с применением отходов, обуславливает производство ячеистых бетонов на основе золошлаковых отходов как отрасль, для которой вопросы экологической проблемы являются особо актуальными.

В этих условиях исследования возможности получения ячеистых бетонов с использованием отходов и их привлечение в качестве сырья, одновременно будет решаться задача утилизации отходов, загрязняющих окружающую среду.

Разработана технологическая схема производства газобетонных блоков, представлена на рисунке 5.2.1

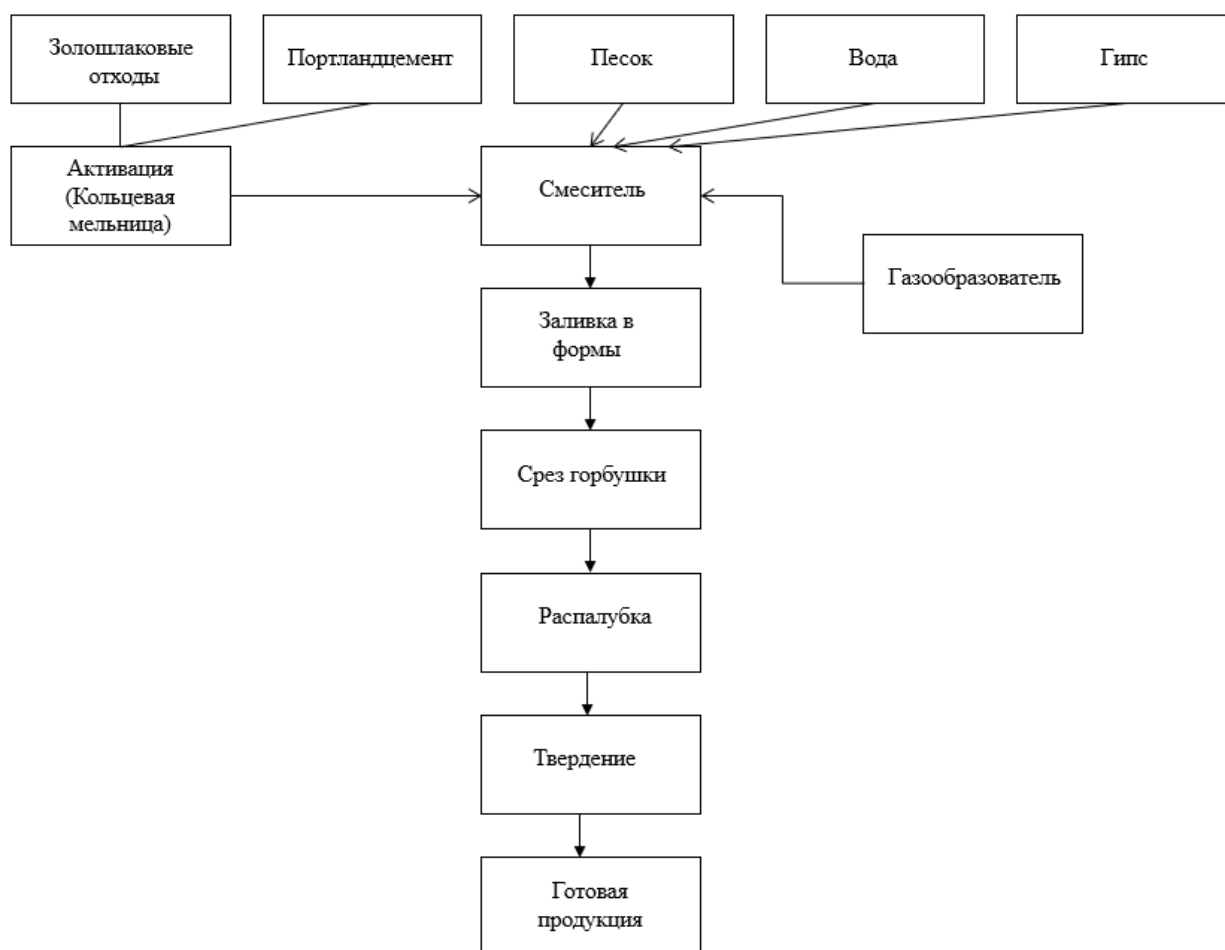


Рисунок 5.2.1 – Технологическая схема производства газобетона

Рассчитаем экономический эффект от традиционных сырьевых материалов на золошлаковые отходы при производстве газобетона:

$$\mathcal{E}_3 = (Z_1 - Z_2)B; \quad (5.3)$$

где: Z_1 – затраты на сырье при традиционном методе производства ячеистых бетонов, руб/м³;

Z_2 – затраты при производстве ячеистых бетон с применением отходов, руб/м³;

B – годовой объем производства газобетонов, м³.

В таблице 5.2.1 представлен сравнительный анализ традиционного метода по сравнению с методом, основанным на применении отходов.

Таблица 5.2.1 – Сравнение показателей по вариантам

Элементы затрат	Традиционный метод			Метод с применением отходов		
	Расход, т/м ³	Цена, руб/т	Сумма, руб/м ³	Расход, т/м ³	Цена, руб/т	Сумма, руб/м ³
Портландцемент	0,400	8740	3496	0,250	8740	2185
Золошлаковые отходы	–	–	–	0,150	–	–
Гипс	0,050	5000	250	0,050	5000	250
Песок	0,550	2700	1485	0,550	2700	1485
ИТОГО			5231			3920

Расчет экономии проведен на выпуск 1 тыс. м³ газобетона в год.

Экономия на сырье: $\mathcal{E}_{\text{сырье}} = (5231 - 3920) \times 1000 = 1,311$ млн руб.

Таким образом, производство ячеистых бетонов на основе золы от сжигания углей экономически эффективнее по сравнению с производством, использующим традиционное сырье.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного патентно-информационного поиска установили возможность применения отходов промышленности для получения ячеистых бетонов.

Анализ результатов химического, минералогического состава золошлаковых отходов позволил выявить перспективность их применения в качестве заполнителя и комплексного вяжущего.

Разработан состав и технологические режимы получения ячеистых бетонов с применением полного факторного эксперимента, в качестве основных факторов воздействия выбраны содержание алюминиевой пудры, водотвердое отношение.

Установлено, что с увеличением содержания нановолокон оксида алюминия в составе бетонов от 0 до 0,9 масс. %, прочность при сжатии образцов на 28 сутки твердения увеличивается от 5,4 МПа до 6,2 МПа (на 15 %), при этом плотность бетонов уменьшается с 1310 до 1200 кг/м³.

Разработаны составы ячеистых бетонов, модифицированных нановолокнами оксида алюминия, и установлены технологические режимы получения их конструкционно-теплоизоляционного назначения. Физико-механические показатели образцов соответствуют требованиям ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия», плотность 1100 кг/м³, прочность при сжатии 3,2 МПа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Баженов, Ю. М. Технология бетона: учебное пособие для вузов / Ю.М. Баженов ; редактор Н.Н. Попова. – Москва: «Высшая школа», 1987. – 89-140 с.
2. Дерябин, П. Технология ячеистых бетонов / П. Дерябин // Методические указания к лабораторным работам. – 2009. – С. 1-32. – URL: <https://studfile.net/preview/16406462> (дата обращения 15.02.2021).
3. Волженский, А. В. Минеральные вяжущие вещества. Технологии и свойства: учебник / А. В. Волженский, Ю. С. Буров, В. С. Колокольчиков; Стройиздат. – Москва, 2016.- 211 с. – ISBN 978-5-4365-0029-4.
4. Невилль, В. Д. Свойства бетона: книга / А. М. Невилль, В. Д Парфенов, Т, Ю. Якуб; Издательство литературы по строительству. – Москва, 2012. – 178 с. – ISBN 978-5-458-37470-5.
5. Walczak P. Autoclaved Aerated Concrete based on fly ash in density 350 kg/m³ as an environmentally friendly material for energy - efficient constructions/ P. Walczak// Construction and Building Material.- 2015.-№41.- С. 39-46.
6. ГОСТ 25485-2019. Бетоны ячеистые. Общие технические условия = Cellular concretes. General specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 июля 2019 г. N 390-ст : введен впервые: дата введения 01.01.2020 / разработан научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им. А.А.Гвоздева (НИИЖБ им. А.А.Гвоздева) Акционерного общества "Научно-исследовательский центр "Строительство" (АО "НИЦ "Строительство"). – Москва : Стандартинформ, 2020. – V, 38 с.
7. ГОСТ 31108-2016. Цементы общестроительные. Технические условия = Common cements. Specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации

(протокол от 27 июля 2016 г. N 89-П) : введен впервые: дата введения 01.03.2017 / разработан ООО Фирма "Цемискон". -Москва : Стандартиформ, 2017.- V, 15 с.

8. ГОСТ 9179-2018. Известь строительная. Технические условия = Lime for building purposes. Specifications: национальные стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 27 июня 2018 г. N 53) 6 введен впервые : дата введения 01.05.2019 / разработан Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ) при участии Управляющей компании "РОСИЗВЕСТЬ" (УК "РОСИЗВЕСТЬ"), Общества с ограниченной ответственностью "Специализированные промышленные технологии - изготовление деталей трубопроводов" (ООО "Спецпромтех-ИДТ"), Общества с ограниченной ответственностью "Придонхимстрой Известь" (ООО "Придонхимстрой Известь"), Общества с ограниченной ответственностью "Эльдако" (ООО "Эльдако"), Акционерного общества "Стройматериалы", Закрытого акционерного общества "Известняк" Джегонасский карьер (ЗАО "Известняк" Джегонасский карьер). – Москва: Стандартиформ, 2019. – VI, 21 с.

9. ГОСТ 125-2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия = Gypsum binders. Specifications : национальные стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 мая 2018 г. N 109-П) : введен впервые: дата введения 01.05.2019 / разработан Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования "Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет" (НИУ МГСУ) при участии Российской гипсовой ассоциации (РГА), Общества с ограниченной ответственностью "КНАУФ ГИПС" (ООО "КНАУФ ГИПС"), Группы компаний "Волма" (ГК "Волма"),

Закрытого акционерного общества "Самарский гипсовый комбинат" и Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Тверской государственной технической университет" (ТвТГУ). - Москва : Стандартинформ, 2019. – VI, 38 с.

10. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия = Sand for construction works. Specifications : национальные стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 сентября 2014 г. N 70-П) : введен впервые : дата введения 01.04.2019 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием "Научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт по проблемам добычи, транспорта и переработки минерального сырья в промышленности строительных материалов" (ФГУП "ВНИПИИСтромсырье"). – Москва : Стандартинформ, 2015. – II, 44 с.

11. ГОСТ 25818-2017. Зола-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия = Thermal plant fly-ashes for concretes. Specifications : национальные стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 25 сентября 2017 г. N 103-П) : введен впервые : дата введения 01.03.2018 / разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им. А.А.Гвоздева (НИИЖБ им. А.А.Гвоздева) АО "НИЦ "Строительство" при участии ООО "ПЦВ". - Москва : Стандартинформ, 2018 – III, 14 с.

12. ГОСТ 5494-95. Пудра алюминиевая. Технические условия = Pigmentary aluminium. Specifications : национальные стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол N 7 от 26 апреля 1995 г.) : введен впервые : дата введения 01.01.1997 / разработан Техническим секретариатом Межгосударственного совета по

стандартизации, метрологии и сертификации. – Москва : Стандартиформ, 1997. – VI, 10 с.

13. ГОСТ 2067-93. Клей костный. Технические условия = Bone glue. Specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 21 октября 1993 г. : введен впервые : дата введения 01.01.1995 / разработан Техническим секретариатом Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации. – Москва: Стандартиформ, 1995. – V, 35 с.

14. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия = Water for concrete and mortars. Specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (протокол N 39 от 8 декабря 2011 г.) : введен впервые : дата введения 01.10.2012 / разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона "НИИЖБ" - филиалом ФГУП "НИЦ "Строительство". – Москва: Стандартиформ, 2012. – II, 25 с.

15. Изготовление изделий из ячеистых бетонов // Стили архитектуры и технологии строительства : официальный сайт. – 2021. – URL: <http://www.arhplan.ru/materials/concrete/izgotovlenie-izdeliy-iz-yacheistyh-betonov> (дата обращения: 20.06.2021).

16. Технология силикатных стеновых ячеистых материалов автоклавного твердения. Учебное пособие // Казанский государственный архитектурно-строительный университет : официальный сайт. – 2021. - URL: <https://www.kgasu.ru/upload/iblock/6ef/7.G-Uchebnoe-po-YAch.-beton.pdf> (дата обращения: 11.09.2021).

17. Технология ячеистых бетонов. Методические указания к лабораторным работам // Сибирская государственная автомобильно-дорожная

академия : официальный сайт.- 2021. – URL: <https://docplayer.com/30326852-P-p-deryabin-tehnologiya-yacheistyh-betonov.html> (дата обращения: 13.09.2021).

18. Namsone E. Durability Properties of High Performance Foamed Concrete/ E. Namsone// Modern Building Materials, Structures and Techniques.- 2016.- №172. – С. 760-767.

19. Marieta C. Waste Management/ C. Marieta // Municipal solid waste incineration fly ash to produce eco-friendly binders for sustainable building construction.- 2020.- №120.- С. 114-124.

20. Нуртдинов М. Р. Мелкозернистые бетоны, модифицированные нанковолокнами $AlO(OH)$ и Al_2O_3 / М. Р. Нуртдинов, А. Ф. Бурьянов // Информатизация образования и методика электронного обучения : материалы VII Международной конференции «Нанотехнологии в строительстве». – Шарм-эль-Шейх, Египет, 2020. – С. 68- 71.

21. Цзин Л. Получение армированных нановолокнами Al_2O_3 и углеродными трубками композитов на основе ZrO_2 с повышенной трещиностойкостью: специальность 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»: бакалаврская работа / Цзин Ли ; Томский политехнический университет . – Томск, 2020.- 25 с.

22. Пат. 2532112 Российская федерация, МПК С04В 20/06 Смесь для получения теплоизоляционного материала. В. А. Голубев ; С. В. Леонтьев ; А. Д. Курзанов ; В. А. Шаманов ; заявитель патентообладатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пермский национальный исследовательский политехнический университет". - № 2015142756/03; заявл. 07.10.2015; опубл. 20.10.2016, Бюл. № 29.– 3 с.

23. Пат. №24795181, МПК С04В 38/02, Российская Федерация, МПК 2 547 532. Э. М. Дригун, И. Э. Роленок, А. С. Песин, Д. Н. Чикишев. Заявитель и патентообладатель: ООО «Магнитогорский научный информационно-технический центр» №2006141234/03; заявл. 21.11.2006; опубл, Бюл. №18 – 4 с.

24. Патент №С04В 20/06 Российская Федерация, МПК С04В 20/06. Я. М. Ольшанов, Г.П. Ефимова. Заявитель и патентообладатель: «Магнитогорский

научный информационно-технический центр», заявл. 25.11.2014; опубл, №80б, -534.

25. Патент №2 524 361, Российская Федерация, МПК С04 38/02 (2006.01), В82В 3/00 (2006.01). Сырьевая смесь для получения газобетона ; №201219393/03 : заявл. 07.2012: опубл. 27.02.2004 / Петрунин С. Ю, Закревская Л. В., Ваганов В. Е.; заявитель Бюл. №21.

26. Патент №2 667 940, Российская Федерация, МПК С04В 18/10 (2006.01), В09В 3/00 (2006.01). Способ переработки золошлаковых отходов тепловых электростанций для производства строительных изделий ; №2 667 940 : заявл. 04.2015, опубл. 25.09.2018 / Краснов В. А.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Малое инновационное предприятие "Модификация цементных систем".

27. Патент №2 600 398, Российская Федерация, МПК С04В 38/02 (2006.01), В82В 3/00 (2006.01). Сырьевая смесь для изготовления газобетона автоклавного твердения ; №2 600 398 : заявл. 10.2015, опубл. 10.216 / Голубев В. А., Леонтьев С. В., Курзанов А. Д., Шаманов В. А.; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

28. Технология бетона. Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации в качестве учебника для студентов высших учебных заведений, обучающихся по строительным специальностям // Московский государственный университет путей сообщения : официальный сайт. – 2021. – URL: <https://docplayer.com/34914102-Yu-m-bazhenov-tehnologiya-betona.html> (дата обращения: 15.10.2021).

29. ГОСТ 12730.4-2020. Бетоны. Методы определения параметров пористости = Concretes. Methods of determination of porosity parameters : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 ноября 2020 г. N 135-П) : введен впервые : дата введения 01.09.2021 / разработан Научно-

исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им .А.А.Гвоздева (НИИЖБ им .А.А.Гвоздева) - структурным подразделением Акционерного общества "Научно-исследовательский центр "Строительство" (АО "НИЦ "Строительство"). – Москва : Стандартинформ, 2021. – V, 12 с.

30. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам = Concretes. Methods for strength determination using reference specimens : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и оценке соответствия в строительстве (приложение Д к протоколу от 4 июня 2012 г. N 40): введен впервые : дата введения 01.07.2013 / разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона "НИИЖБ" - филиалом ФГУП "НИЦ "Строительство". - Москва : Стандартинформ, 2013. – V, 21 с.

31. ГОСТ 17623-87. Бетоны. Радиоизотопный метод определения средней плотности = Concrete. Radioisotope method of average densiti determination: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного строительного комитета СССР от 01.07.87 N 126 : введен впервые : дата введения 01.01.1988 / разработан Министерством строительных материалов СССР. - Москва : Стандартинформ, 1988. - II, 18 с.

32. Планирование эксперимента. Учебно-практическое пособие // Министерство образования и науки Российской Федерации Волгоградский государственный архитектурно – строительный университет : официальный сайт. – 2021. URL: https://vgasu.ru/attachments/oi_ereschenko-01.pdf (дата обращения: 18.12.2021).

33. Федеральный классификационный каталог отходов // Федеральная служба по надзору в сфере природопользования : официальный сайт. – 2021. URL: <https://rpn.gov.ru/fkko/> (дата обращения: 29.11.2021).

34. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия = Portland cement and portland blastfurnace slag cement. Specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 10.07.85 N 116 : введен впервые : дата введение 01.01.1987 / разработан Министерством промышленности строительных материалов СССР. – Москва: Стандартинформ, 1987. – III, 22 с.

35. Зимакова Г.А, Шарко П.В. Методические указания методические указания к лабораторным работам для обучающихся направления подготовки 08.03.01, 08.04.01 «Строительство» очной формы обучения// Тюменский индустриальный университет. С. 12-14. URL: <https://www.tyuiu.ru/wp-content/uploads/2017/06/MU-YAcheistye-betony.-Zimakova-G.A.-SHarko-P.V..pdf>

36. Нуртдинов М.Р., Соловьев В.Г., Бурьянов А.Ф. Мелкозенирстые бетоны, модифицированные нановолокнами $AlO(OH)$ и Al_2O_3 // Исследовано в России: доклады VII Международной конференции «Нанотехнологии в строительстве», 2015. С. 2-4. UR: <http://rifsm.ru/u/fl/itm6530.pdf> (дата обращения: 31.01.2022)

37. Цзин Л. Получение армированных нановолокнами Al_2O_3 и углеродными трубками композитов на основе ZrO_2 с повышенной трещиностойкостью //Томский политехнический университет: бакалаврская работа, 2020. С. 25. URL: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/60895/1/TPU929753.pdf> (дата обращения 28.01.2022)

38. ГОСТ 25485-89. Межгосударственный стандарт. Бетоны ячеистые = Cellular concretes. Specifications : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного строительного комитета СССР от 30.03.89 №57 ; введен впервые : дата введения 1990-01-01 / разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона Госстроя СССР. – Ленинград, АО «Кодекс», 2003. – III, 7 с.

39. СанПиН 2.1.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : введен впервые : дата введения 2021 – 01-28 // Электронный фонд правовых и технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (дата обращения 10.09.2022)

40. ГОСТ 29322-2014. Напряжения стандартные = Standard voltages : межгосударственный стандарт : издание официальное: утверждения и введен в действие Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии от 30.09. 2014 № 70-П : введен впервые: дата введения 2015-10-01 / подготовлен ООО «ВНИИС». – Москва : Стандартинформ, 2015. – III, 11 с.

41. ГОСТ Р 57789-2017. Зола, шлаки и золошлаковые смеси ТЭС для производства искусственных пористых заполнителей = Ashes, slags and ash-slugs mixtures of HPP for manufacturing of artificial porous aggregates. Specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 октября 2017 г. № 1399- ст : введен впервые: дата введения 2018-03-01 / разработан Акционерным обществом «НИИКерамзит» при участии некоммерческой организации «Союз производителей керамзита керамзитобетона». – Москва : Стандартинформ, 2018.- II, [6] с.

42. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия = Common cements. Specifications : технические условия : издание официальное : принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве, прокол от 30 апреля 2020 г. № 129-П : введен впервые : дата введения 2021-03-01 / разработан Некоммерческой организацией «Союз производителей цемента» и Обществом с ограниченной ответственностью «Фирма «Цемискон». – Москва, Стандартинформ, 2021 – III, 12, [10] с.

43. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакции СНиП 23-05-95 : введен впервые : дата введения

2017-05-08 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 10.09.2022).

44. СП 51.13330.2011. Защита от шума : введен впервые : дата введения 2011-05-20 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (дата обращения 16.05.2022).

45. ГОСТ 12.1.005 – 88. Система стандартов безопасности труда Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны = Occupational safety standards system. General sanitary requirements for working zone air : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета ССР по стандартам 29.09.88 №3388 : введен впервые: 7989-01-01 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200003608> (дата обращения 16.05.2022).

46. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : введен впервые : дата введения 2021-07-01 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573697256> (дата обращения 17.09.2022).

47. ГОСТ 12.1.009. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность = Occupational safety standards system. Electrical safety. Terms and definitions : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2009 г. №682-ст ; введен впервые : дата введения 2011-01-01 / разработан Федеральным государственным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт охраны и экономики труда «Росздрава». – Москва, Стандартинформ, 2011. – II, 5 с.

Продолжение титульного листа магистерской работы по теме «Ячеистые бетоны на основе золошлаковых отходов от сжигания угля»


Консультанты по
разделам:

Литературный обзор
наименование раздела

 11.06.22
подпись, дата

Р.Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Методическая часть
наименование раздела

 11.06.22
подпись, дата

Р.Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Экспериментальная часть
наименование раздела

 11.06.22
подпись, дата

Р.Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Охрана труда и окружающей среды
наименование раздела

 11.06.22
подпись, дата

Р.Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Экономическая часть
наименование раздела

 11.06.22
подпись, дата

Р.Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

 11.06.22
подпись, дата

Р.Г. Еромасов
инициалы, фамилия

Студенту Коваль Елене Сергеевне

фамилия, имя, отчество

Группа ЦМ 20-26М

номер

Направление (специальность) 22.04.01

код

Материаловедение и технологии материалов

наименование направления

Тема выпускной квалификационной работы «Ячеистые бетоны на основе золошлаковых отходов от сжигания угля»

Утверждена приказом по университету № 4646/с от 25.03.2022 г.

Руководитель ВКР Р.Г. Еромасов, канд. техн. наук, доцент каф. «Композиционные материалы и физико-химия металлургических процессов»

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР: патентно-информационный поиск, результаты НИР, результаты преддипломной практики

Перечень разделов ВКР: литературный обзор, методическая часть, экспериментальная часть, охрана труда и окружающей среды, экономическая часть.

Перечень графического материала презентация по теме выпускной квалификационной работы


Руководитель ВКР


_____ подпись

Р.Г. Еромасов

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению


_____ подпись

Е. С. Коваль

инициалы и фамилия студента

«21» 02 2022 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Ячеистые бетоны на основе золошлаковых отходов от сжигания угля» содержит 92 страницы текстового документа, 47 использованных источников, 10 рисунков, 23 таблицы.

ЯЧЕИСТЫЕ БЕТОНЫ, ЗОЛОШЛАКОВЫЕ ОТХОДЫ, ТВЕРДЕНИЕ, ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ, ПРОЧНОСТЬ, ВОДОПОГЛОЩЕНИЕ, НАНОВОЛОКНА ОКСИДА АЛЮМИНИЯ.

Объектом исследования являются золошлаковые отходы от сжигания угля для производства ячеистых бетонов.

Целью данной работы является разработка составов ячеистых бетонов с использованием золошлаковых отходов.

Для достижения поставленной цели предполагается решить следующие задачи:

- проведение патентно-информационного поиска в области получения ячеистых бетонов;
- анализ химического, минералогического состава золошлаковых отходов;
- разработка состава ячеистых бетонов с использованием золошлаковых отходов в качестве заполнителя и комплексного вяжущего;
- разработка составов композиционного дисперсно-упрочненного материала с введением нановолокон оксида алюминия;
- исследование физико-механических свойств экспериментальных образцов.

Установлено, что с увеличением содержания нановолокон оксида алюминия в составе бетонов от 0 до 0,9 масс. %, прочность при сжатии образцов на 28 суток твердения увеличивается от 5,4 МПа до 6,2 МПа (на 15 %), при этом плотность бетонов уменьшается с 1310 до 1200 кг/м³.