



## АННОТАЦИЯ

Аралин М.А «Разработка сульфатостойкого бетона на основе шлакопортландцемента» – Челябинск: ЮУрГУ, Стр. мат., 2018, с.80, ил.18, табл.24.

Библиографический список 85–наименований.

В дипломной работе представлен обзор основных теоретических вопросов, затронутых в ходе выполнения данной исследовательской работы, приведены поставленные цели и задачи, представлено описание используемых материалов и методов исследования, приведены данные экспериментов, проведен анализ результатов исследования, представлен расчет сравнительной экономической эффективности от применения доменного гранулированного шлака и химических добавок в бетонных смесях, представлены основные требования к безопасности труда и жизнедеятельности.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	8
1.1 Сведения о сульфатостойком бетоне.....	8
1.2 Сведения о шлаках.....	11
1.3 Сведения о сульфатной коррозии <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
1.4 Способы модификации структуры и свойств бетона <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
1.4.1 Модификации при помощи шлака <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
1.4.2 Модификации при помощи активных минеральных добавок ..... <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ .....	30
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	31
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	32
2.1 Методы исследования.....	32
2.1.1 Свойства сырьевых материалов <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
2.1.2 Свойства бетонной смеси.... <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
2.1.3 Свойства бетона .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.1.4 Дифференциально-термический анализ <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
2.1.5 Математический метод планирования эксперимента.... <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	
2.2 Характеристика сырьевых материалов.....	35
2.2.1 Цемент.....	35
2.2.2 Вода .....	36
2.2.3 Мелкий заполнитель.....	38
2.2.4 Крупный заполнитель.....	39
2.2.5 Доменный гранулированный шлак <b>Ошибка! Закладка не определена.</b>	

2.2.6 Комплексная добавка «Реламикс Т-2» **Ошибка! Закладка не определена**

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ .....	43
3.1 Подбор составов тяжелого бетона .....	43
3.2 Получение сульфатостойкого бетона. ....	49
ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ.....	54
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	55
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	58
5.1 Нормативные значения факторов рабочей среды .....	60
5.1.1 Микроклимат рабочей зоны.....	60
5.1.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны .....	61
5.1.3 Освещение рабочей зоны .....	62
5.1.4 Шум на рабочем месте .....	63
5.2 Безопасность производственных процессов и оборудования .....	64
5.3 Электробезопасность .....	66
5.4 Пожаробезопасность.....	66
6 ЭКОЛОГИЯ .....	68
ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	73

## ВВЕДЕНИЕ

Бетон – искусственно полученный каменный материал, в результате отвердевания уплотнённой смеси воды, порошка вяжущего вещества и заполнителей. Гравий или щебень используются в роли крупного заполнителя, а мелким заполнителем выступает кварцевый природный песок или отсева дробления. Вяжущим веществом являются различные цементы с добавками наполнителями или без.

На сегодня бетон – один из основных строительных материалов, используемых в строительстве. Бетонные смеси должны иметь высокую подвижность, замедленное схватывание и быстрый набор прочности, длительное время транспортировки с последующей легкой заливкой в формы, универсальность применения, получения конструкций, не требующих значительных затрат на гидроизоляционные работы. При этом не следует забывать, что основной задачей является обеспечение требуемой прочности и долговечности бетонной конструкции, т.е. возможностью длительное время противостоять механическим нагрузкам, химическим и физическим воздействиям окружающей среды.

Особый интерес проявляется к защите бетона от воздействия агрессивной среды или иными словами повышение сульфатостойкости бетона, так как именно сульфатная водная среда различной степени агрессивности чаще всего присутствует в грунтовых водах. Так же, воздействие, как морской воды, так и канализационных стоков на конструкции из бетона схожи с воздействием сульфатной водной средой различных степеней агрессивности. Воздействие воды – это один из главных факторов, влияющих на долговечность бетонных конструкций.

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Сведения о сульфатостойком бетоне

Сульфатостойкость бетона – это способность бетона сохранять в агрессивной сульфатной среде на весь срок эксплуатации все свои нормативные свойства без каких-либо признаков разрушения. [47].

Сульфатостойкость требуется для конструкций, имеющих контакт с агрессивной средой (грунтовые воды, близость химических и других вредных предприятий, влияющих на выпадающие осадки и т.п.). В данной работе акцентируется внимание на влияние характеристик бетона агрессивных грунтовых вод, содержащих в себе сульфат-ионы. На практике конструкции, подверженные воздействию сульфат-ионов с течением времени теряют свои свойства (прочность, водонепроницаемость, сульфатостойкость), что рано или поздно приводит к разрушению конструкции и невозможности ее дальнейшего использования.

Проникание в бетон жидких агрессивных веществ существенно, согласно [48] влияет на его долговечность, например, при вымывании  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  или при действии агрессивных растворов.

В качестве агрессивной среды выбрана сульфатная среда, вызывающая сульфатную коррозию бетона, рассмотрим, чем она опасна.

Во-первых, именно сульфатная водная среда разной степени агрессивности чаще всего присутствует в грунтовых водах. Помимо этого, воздействие морской воды и канализационных стоков на бетон во многом схожи с воздействием сульфатной водной средой средней и сильной степени агрессивности, поэтому и способы противодействия этим видам агрессивного воздействия на бетон одинаковы.

Во-вторых, сульфатная водная среда считается одной из самых разрушительных для обычного бетона. Дело в том, что в результате взаимодействия сульфат-ионов с такими компонентами цементного камня, как трехкальциевый алюминат ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) и гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (свободная известь), образуются очень опасные кристаллические новообразования под названием этtringит ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot6\text{H}_2\text{O}\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$ ). ()

Образование этtringита сопровождается постепенным увеличением объема кристаллов, и это оказывает всё возрастающее давление на окружающий их цементный камень, вызывая в нём внутренние напряжения. С ростом кристаллов эти напряжения нарастают, и через определённое время это приводит к образованию множества микротрещин в цементном камне, значительному снижению его прочности, а потом и к полному разрушению цементного камня, а значит и бетона.

Этот процесс начинается от поверхности бетона, где он соприкасается с сульфатной средой, затем постепенно проникает вглубь, достигает арматуры и распространяется дальше. Когда защитный слой арматуры оказывается нарушенным, и агрессивная среда входит в соприкосновение с арматурой, начинается ускоренная коррозия арматуры. Продукты коррозии арматуры также увеличиваются в объеме и усиливают давление на окружающий бетон, ускоряя процесс его разрушения. В итоге конструкция достаточно быстро приходит в негодность задолго до окончания расчетного срока эксплуатации.

Скорость разрушения бетона в сульфатной среде зависит, в первую очередь, от агрессивности этой среды, от условий эксплуатации и от температуры окружающей среды. ( )

Различают 3 степени агрессивности внешнего воздействия окружающей среды на бетон:

Слабая степень агрессивности – степень агрессивного воздействия на бетонные и железобетонные конструкции, при которой разрушение бетона и/или потеря защитного действия его по отношению к стальной арматуре за 50 лет эксплуатации распространяется на глубину не более 10 мм.

Средняя степень агрессивности – степень агрессивного воздействия на бетонные и железобетонные конструкции, при которой разрушение бетона и/или потеря защитного действия его по отношению к стальной арматуре за 50 лет эксплуатации распространяется на глубину не более 20 мм.

Сильная степень агрессивности – степень агрессивного воздействия на бетонные и железобетонные конструкции, при которой разрушение бетона и/или

потеря защитного действия его по отношению к стальной арматуре за 50 лет эксплуатации распространяется на глубину 20 мм и более. ()

В свою очередь степень агрессивного воздействия среды на бетон зависит от концентрации сульфатов в жидкой среде или в грунте. Например при концентрации сульфат-ионов в грунте менее 0,5 грамма на 1кг грунта, а в жидкой сульфатной среде менее 0,42 грамма на 1 литр, считается что такая среда является вообще не агрессивной по отношению к бетону.

Для обычного рядового бетона сильноагрессивной считается среда с концентрацией сульфат-ионов в грунте свыше 1,5 грамма на 1 кг грунта, а в жидкости – свыше 1,8 грамм на 1 литр. А на практике довольно часто встречаются среды с концентрацией сульфат-ионов, значительно превышающей эти показатели (свыше 3 грамм на литр жидкости или на 1 кг грунта). ()

Согласно рекомендациям по применению бетонов в условиях сульфатной агрессии, разработанным НИИЖБ, бетоны на шлакопортландцементе целесообразно применять в бетонных и железобетонных конструкциях подводных и подземных частей сооружений, находящихся в постоянном контакте с природными или промышленными водами, в конструкциях, не подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию и не имеющих испаряющей поверхности.

Наиболее целесообразно применять бетоны на таких цементах для фундаментов и других подземных конструкций и подводной части гидротехнических сооружений, особенно в массивных конструкциях.

Также, шлакопортландцемент марки 400, сульфатостойкий шлакопортландцемент марки 400 допустимо применять для бетонных и железобетонных конструкций, работающих в условиях воздействия сульфатных агрессивных вод в сочетании с попеременным воздействием положительных и отрицательных климатических температур (т.е. при попеременном замораживании и оттаивании, увлажнении и высыхании) при условии введения в бетон или в цемент при его изготовлении порообразующих пластифицирующих или комплексных добавок. ()

## 1.2 Сведения о шлаках

Известно, что шлаки представляют собой отходы производства чугуна в доменных печах на металлургических заводах. В их состав входят алюмосиликаты кальция, которые образуются из пустой породы железной руды, золы, кокса и различных флюсов, добавляемых в процессе плавки (рис. 1).

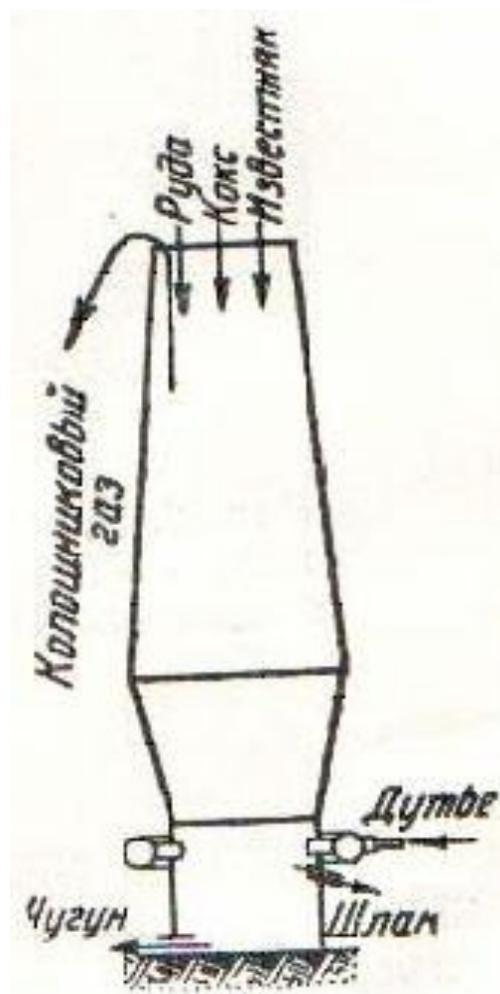


Рис. 1. Схема доменного процесса

Количество шлака в расчете на 1 тонну чугуна может быть различным в зависимости от используемой руды и местоположения предприятия, однако в целом количество шлака на 1 тонну чугуна не превышает 300–400 кг.

В 1860 году Ланжен (Франция) показал, что шлак можно гранулировать при быстром его охлаждении сразу же по выходе из доменной печи. В 1865 году это открытие было использовано для производства шлакового кирпича. В начале

1870-х годов в ряде стран был предложен так называемый шлаковый цемент, состоящий из смеси 70–85 % молотого гранулированного доменного шлака и 15–30 % гидратной извести иногда с ускоряющими твердение добавками [1]. Шлак в этом цементе придавал воздушному вяжущему — извести способность гидравлического твердения под водой. Шлак изначально рассматривался как заменитель природного пуццолана, а получившийся продукт назывался шлаковым или пуццолановым цементом. В дальнейшем была установлена ошибочность подобного взгляда на доменный шлак. Шлаковые цементы того времени находили применение в растворах и бетонах для сооружения набережных, мостовых устоев, каналов, резервуаров и т. д. В частности, эти цементы применялись для строительных работ горного ведомства, для морских работ в управлении торговых портов в России.

Дальнейшей практикой было обнаружено, что шлаковый цемент обладает большей стойкостью в агрессивных водах, нежели портландцемент, но значительно уступает последнему по прочности в условиях воздушного твердения и по стойкости при магазинировании; содержащаяся в шлаковом цементе гидратная известь на воздухе быстро карбонизируется и теряет ктивность [1]. Поэтому в дальнейшем производство шлакового цемента не получило большого развития, а доменные шлаки стали широко применять для изготовления шлакопортландцемента, который сочетал в себе многие достоинства шлакового цемента и портландцемента.

Шлакопортландцемент — продукт, полученный путем совместного перемола портландцементного клинкера и гранулированного доменного шлака соответствующего состава (весовое содержание шлака в готовом продукте не должно превышать 85 %).

В конце XIX века в Германии появился шлаковый портландцемент. Германские фабриканты увидели в производителях нового материала конкурентов, что вызвало в их среде большие опасения. Объединившись, портландцементные фабриканты стали чинить всевозможные препятствия с целью опорочить шлакопортландцемент. Была даже назначена специальная правительственная комиссия для

изучения свойств нового вяжущего вещества. В результате в качестве компромисса было решено разделить шлаковый портландцемент на две марки: железопортландцемент с содержанием шлака до 30 % и доменный цемент с содержанием шлака от 30 до 85 %. Такое подразделение не могло быть оправдано, так как содержание шлака в таких цементах определяется химическим составом: одни из них требуют меньшего, другие большего количества клинкера для получения продукта высокого качества. Заграничная практика тех лет показала, что шлакопортландцемент, даже с очень большим содержанием шлаков, может успешно применяться в самых разнообразных видах строительства.

Стоит отметить, что в это время появилась тенденция продвигать на рынок так называемые улучшенные портландцементы, песчаные цементы и т. д., под видом которых заводы старались продать портландцемент с подмешанными измельченными доменными шлаками. Появился миф об улучшенных портландцементов. Рождению мифа способствовало то, что некоторые из этих цементов, особенно с высоким содержанием извести, после смешивания со шлаками определенного состава действительно приобретали высокую прочность в отвердевших растворах [4], однако ряд других качеств при этом претерпевали не лучшие изменения, например, прочность при длительном пребывании в атмосфере падала.

Количество добавленных шлаков должно строго ограничиваться соотношениями количества кремнезема и извести в шлаках и составе цемента. В этом и кроется главная опасность подмешивания шлаков. Шлаки по своему составу довольно близки к портландцементу, хотя и не всякий шлак годится для подмешивания. Однако уж очень заманчиво получить дополнительные доходы. Подсчитано, что при подмешивании шлака в портландцемент продавец получает дополнительно 37 % от продажной стоимости товара [4]. Проверить количество подмешиваемого шлака было чрезвычайно трудно.

Германия оградила себя от этой опасности тем, что производители цемента взяли на себя обязательства или продавать только чистый цемент, или указывать на таре, какая введена примесь (шлак) и в каком количестве. Общими усилиями производителей удалось изгнать с немецкого рынка подмешанный цемент. После

чего производители стали поставлять подмешанные цементы в другие страны, в том числе и в Россию [4].

На V Цементном съезде (1898 г.) ввиду появления в продаже шлакового цемента было принято решение — ходатайствовать, чтобы этому явлению было присвоено соответствующее название [3].

Выдающаяся роль в развитии и применении шлакопортландцемента в России принадлежит Н. А. Белелюбскому, А. А. Байкову, С. И. Дружинину и В. А. Кинду. По инициативе Н. А. Белелюбского, возглавлявшаяся им механическая лаборатория института инженеров путей сообщения с 1915 года начала систематически проводить испытания продукта шлакопортландцементных заводов, давать ему наименование и всячески содействовать практическому применению его в строительстве. Одна из последних работ Н. А. Белелюбского, написанная совместно с С. И. Дружинином и В. А. Киндом, была посвящена техническим условиям приемки шлакопортландцемента.

А. А. Байков уже в то время пришел к выводу о сходстве природы портландцемента и основного доменного шлака, обладающего самостоятельными гидравлическими вяжущими свойствами. А. А. Байков условно рассматривал портландцемент как шлак высокой степени основности, а основной шлак — как портландцемент с очень низким гидромодулем. Это представление было положено Байковым в основу предлагаемых им методов испытания и нормирования шлакопортландцемента. В 1916 году в одном из докладов Байков подчеркивал большое значение производства шлакопортландцемента для народного хозяйства страны, принимая во внимание его дешевизну и громадный спрос на строительные материалы в послевоенные годы. Анализируя выпуск и качество шлаков южнорусских металлургических заводов, Байков пришел к выводу о возможности выпуска шлакопортландцемента в количестве 20–25 % от выпуска портландцемента, что и было впоследствии осуществлено. Тогда же С. И. Дружинин указал на неправильность отнесения шлакопортландцемента к группе смешанных цементов, мотивируя это полной равноценностью шлакопортландцемента и портландцемента по химической природе и механическим свойствам, и обосновал необходимость

соответствующих изменений в номенклатуре вяжущих веществ. С 1913 по 1915 год было построено 3 шлакопортландцементных завода общей годовой мощностью 70–90 тысяч тонн. Эти заводы находились на металлургических комбинатах — Александровском, Брянском и Судаковском [1].

Выпускавшийся в то время шлакопортландцемент имел активность 150–380 кг/см<sup>2</sup> и первоначально предназначался в основном для местных нужд, но в ряде случаев находил применение в строительных работах государственного значения, как, например, строительство Выборгской крепости, сооружение опор железнодорожного моста через р. Ока и др. С 1916 года шлакопортландцемент в России был официально допущен к применению наравне с портландцементом, а также в строительных работах по ведомству путей сообщения.

Многочисленные испытания и практика показали, что цементы с высоким содержанием шлака схватываются медленнее, чем обычный портландцемент, особенно при бетонировании в холодное время года. В первые сутки прочность шлакопортландцемента ниже, чем обычного портландцемента, но к 7 суткам он набирает достаточную прочность, особенно высокую прочность набирается при выдержке во влажной среде. Шлакопортландцементы хорошо выдерживают пропаривание, прекрасно переносят воздействие повышенных температур. Бетон, получаемый на базе шлакопортландцемента, стоек к воздействию агрессивных сред, почти не изменяет объем как в холодное, так и в жаркое время года [2].

Технология применения цементосодержащего до 35 % шлака аналогична технологии применения портландцемента того же класса прочности без минеральных добавок. Цементы с содержанием шлака более 50 % используются при обычных работах с бетоном и железобетоном, а также при изготовлении бетонных труб и блоков [2].

Бетоны на основе шлакопортландцементов хорошо зарекомендовали себя в производстве сборного железобетона при использовании метода пропаривания. Существуют шлакопортландцементы, которые можно использовать при возведении фундаментов, создании гидротехнических и подземных сооружений [2]. В качестве примера можно привести бетонные и железобетонные сооружения во

Франции: туннель под Монбланом, подземный вокзал на новой станции Париж — Аустерлиц (32 тысячи тонн шлакопортландцемента), тубинги для Парижского метро и др. Особенно интересна в этом смысле приливная электростанция Ранс (1964), строительство которой потребовало 150 тыс. тонн цемента.

В середине XX века большое распространение при строительстве дорог получила гравийно-песчаная смесь на шлакопортландцементе, в котором доля вяжущего составляет 4–5 %. При строительстве дорог такой материал обладает целым рядом ценных преимуществ. Благодаря применению шлакопортландцемента не образуются явные и длинные трещины. Медленное схватывание такого цемента позволяет лучше контролировать укладку покрытия в раннем возрасте. Это вяжущее в начале твердения обладает низкими прочностными качествами, но со временем набирает хорошую механическую прочность [2]. Гидравлические вяжущие с тем или иным содержанием шлаков производятся во многих странах. В середине XX века в СССР производство шлакопортландцементов составляло 33 % от общего производства цемента. В 1971 году в СССР было переработано 26 млн тонн гранулированных шлаков. На цемент расходовалось около 50 % используемых шлаков. Во Франции, Германии, Италии шлак в производстве цемента использовался так же широко. В Бельгии использование шлаков в производстве цемента составляло 21 % [2].

По мере развития металлургии всё большее количество шлаков накапливается в отвалах заводов. Проблема использования шлаков становится всё более и более актуальной.

В этом плане интересны решения применения шлаков в зависимости от способов обработки (рис. 2).

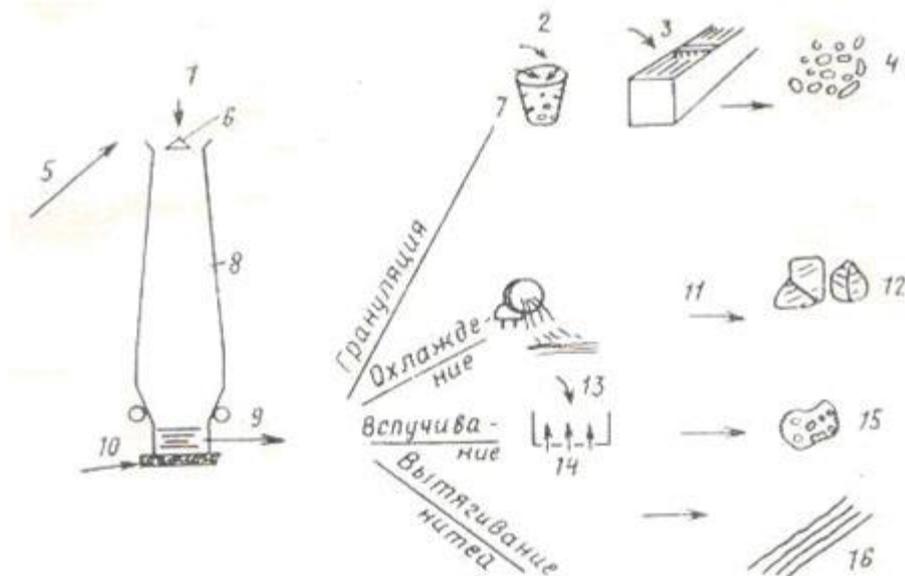


Рис. 2. Схема различных методов обработки шлака по выходу из доменной печи. 1 — подача кокса и различных присадок, 2 — шлак, 3 — бассейн с водой, 4 — песок крупностью 1–5 мм, 5 — загрузочный ковш, 6 — колосник, 7 — гранулятор, 8 — печь, 9 — шлак в горне, 10 — горн и чугун, 11 — выгрузка в шлаковый отвал, 12 — отходы, 13 — шлак, 14 — струи воды, 15 — легкий наполнитель, 16 — шлаковата

Быстрое охлаждение в воде. Жидкий шлак попадает в грануляционный ковш и затем оседает на дно в наполненном водой бассейне. Получается стекловидный песок с зернами крупностью 0,2 мм. Для грануляции шлака требуется большое количество воды, примерно  $10 \text{ м}^3$  на 1 тонну.

Такой шлак применяют на цементных заводах, а также используют вместо природного песка при получении гидротехнического бетона.

Медленное охлаждение на воздухе. Шлаковый расплав по выходу из доменной печи подают в вагонетку, а затем перевозят и выливают в траншеи длиной 100–300 м. После охлаждения образующий камень собирают, дробят и классифицируют.

Полученный щебень используется для дорожных работ, а также в качестве наполнителей бетона.

Охлаждение водой или паровоздушной смесью под давлением. Данная технология позволяет получать вспученный шлак, используемый при изготовлении легких бетонов. В результате обработки камень приобретает губчатую поверхность.

Быстрое охлаждение сжатым воздухом. Применение сжатого воздуха для быстрого охлаждения позволяет получать шлаковату, которая используется для тепло- и звукоизоляции.

В 1928 году П. П. Будников, изучая влияние различных веществ, которые могут возбуждать собственные скрытые гидравлические свойства доменного шлака, установил, что в качестве возбудителей процесса гидратации шлаков можно применить различные модификации сульфата кальция, нерастворимый или растворимый ангидрит и эстрих-гипс в присутствии незначительного количества щелочи. В результате этого исследования был получен новый вид вяжущего — бесклинкерный шлаковый сульфатированный цемент [1].

В 1939 году П. П. Будниковым и И. Г. Гольдбергом был получен быстротвердеющий высокоактивный так называемый ангидрито-глиноземистый цемент, вполне пригодный для скоростного возведения высокопрочных бетонных сооружений.

В эти же годы в Германии было освоено производство глиноземистых цементов на базе некоторых шлаков. Некоторые сорта шлаков используются для производства цветных стекол, некоторых видов керамики и др. По данным профессора Б. Г. Скрамтаева, шлаковый портландцемент в промышленных масштабах начали выпускать: в Германии с 1892 года, в России с 1913–1914 годов.

Дату точного изобретения шлакопортландцемента трудно определить, но на основании имеющихся источников можно сказать, что в 2018 году исполнится около 140 лет со времени применения шлаков в качестве вяжущих веществ.

Большинству строителей известны цементы на основе шлаков, но многие склонны считать подобные гидравлические вяжущие материалами второго сорта.

Использование доменного шлака в производстве цемента дает значительную экономию топлива, позволяет примерно на 20 % снизить себестоимость про-

дукции по сравнению с производством портландцемента, что особенно важно в условиях рыночной экономики [2].

#### Литература:

1. Будников П. П., Значко-Яворский И. М. Гранулированные доменные шлаки и шлаковые цементы. — М.: Промстройиздат, 1933.
2. Венюа М. Цементы и бетоны в строительстве. — М.: Стройиздат, 1980.
3. Краткий обзор деятельности 12 цементных съездов // Цемент, его производство и применение. — 1910. — № 2.
4. Шуляченко А. Р. Состояние цементной промышленности на Западе и у нас // Цемент, его производство и применение. — 1901. — № 5.

### 1.3 Сведения о сульфатной коррозии.

В 1952 г. В.М. Москвиным была предложена классификация основных видов коррозии. На основе полученных данных процессы, протекающие при коррозии бетона были разделены на три основных вида:

- в коррозии I вида объединены процессы, которые возникают в бетоне при действии мягких вод, когда составные части цементного камня растворяются и уносятся протекающей водой.

- к коррозии II вида относятся те процессы коррозии, которые развиваются в бетоне при действии вод, содержащих химические вещества, вступающие в реакцию с составляющими цементного камня. При этом продукты реакции легко растворяются и уносятся водой, либо в виде аморфной массы, не обладающей вяжущими свойствами, остаются на месте реакции. К ним относятся процессы, возникающие при действии кислот либо магниезальных солей.

- к коррозии III вида относятся процессы коррозии, при развитии в которых в порах и капиллярах бетона происходит накопление малорастворимых солей, кристаллизация которых вызывает возникновение значительных напряжений в стенках пор и капилляров и приводит к разрушению структурных элементов бетона. Так же сюда могут быть отнесены процессы коррозии при действии сульфатов, когда разрушение бетона вызывается ростом кристаллов гидросульфата алюмината кальция.

Сульфатная коррозия - один из широко распространенных видов химического разрушения цементных материалов, в частности, бетонов. При контакте с бетоном сульфаты активно взаимодействуют с гидроксидом кальция и алюминатными составляющими цементного камня. При воздействии сульфатов на бетон образуются продукты, способствующие разрушению структуры бетона. Такими продуктами являются гипс и гидросульфоалюминат кальция, встречающиеся, чаще всего, в двух модификациях:

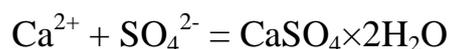


При данной коррозии в начальных стадиях идёт уплотнение бетонной смеси за счет кристаллических новообразований солей. На скорость протекания процессов коррозии влияет пористость бетона. В пористом бетоне процесс протекает интенсивнее.

Так же большую роль играет микро- и макропористость, а так же наличие открытых пор в развитии процесса коррозии Швида. Не меньшее значение имеет размер поверхности соприкосновения цементного камня с агрессивной средой и их химический состав. Наличие сульфатов в воде, соприкасающихся с поверхностью цементного камня, повышает растворимость составляющих его компонентов. При соприкосновении воды, содержащей сульфаты  $\text{CaSO}_4 > 2100$  мг/л, с бетоном, происходит его насыщение и образования двухводного гипса  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ .

Бетоны, для изготовления которых используются цементы с ограниченным содержанием трехкальциевого силиката и алюминийсодержащих минералов как правило обладают повышенной сульфатостойкостью.

При достаточно высокой концентрации аниона  $\text{SO}_4^{2-}$  в жидкой фазе он реагирует с катионом кальция  $\text{Ca}^{2+}$  по реакции:



Далее гипс насыщается водой и при кристаллизации увеличивается в объеме, что приводит к разрушению цементного камня.

Из числа солей образующихся в бетоне, наибольшую опасность представляет гидросульфоалюминат кальция, присоединяющий 30...32 молекулы воды и при

этом значительно увеличивающийся в объеме. В образовании этой соли принимают участие гидроалюминаты цементного камня и гипс, поступивший в виде раствора, либо образовавшийся в результате реакции между сульфатами и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .



При коррозии данного вида вначале на поверхности бетона образуется тонкая пленка из кристаллов гипса, а затем происходит постепенное образование скоплений кристаллов гипса и гидросульфалюминатов кальция (ГСАК) в виде прожилок в более глубоких слоях цементного камня. Скопление гипса, как правило, возникает в местах скоплений  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Образовавшиеся кристаллы гипса в ГСАК оказывают большое давление на стенки пор цементного камня и вызывают местные разрушения, т.е. образования трещин. С началом их образования начинается постепенное разрушение бетона.

Значительное обводнение бетона приводит к растворению  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{CaSO}_4$ , уменьшая возникающие напряжения. Однако значительное обводнение может способствовать разрушению бетона вследствие вымывания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и продуктов коррозии. ( )

#### 1.4 Способы модификации структуры и свойств бетона

##### 1.4.1 Модификации при помощи шлака

Применение вяжущих с доменным гранулированным шлаком (ДГШ) позволяет решать следующие проблемы: утилизация отходов, сокращение объёмов производства клинкера, что, в свою очередь, сокращает энергоёмкость производства цемента и выбросы углекислого газа в атмосферу. Введение ДГШ в состав цемента приводит к следующим изменениям свойств вяжущего по сравнению с ЦЕМІ:

Повышает водопотребность с увеличением дисперсности шлака, удлиняет сроки начала и конца схватывания, что способствует увеличению сохраняемости свойств бетонной смеси во времени;

Уменьшает теплоту гидратации, поэтому такие цементы рекомендуются при строительстве массивных сооружений, но для зимних условий твердения или для изготовления сборного железобетона на таких цементах желательно применение прогревных методов твердения;

Повышается стойкость цементного камня к воздействию агрессивных сред: сульфатостойкость, кислотостойкость, щёлочестойкость, стойкость к морской воде, карбонизации и др. вследствие уменьшения в цементном камне содержания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и продуктов гидратации алюминатных фаз.

Реакционная способность шлака зависит от химического состава, содержания стекла и тонкости помола.

Максимального увеличения ранней прочности бетона на цементно-шлаковом вяжущем удаётся добиться при комбинации термического и механического способа активации. Поздняя прочность бетона обеспечивается без специальной активации.

С увеличением содержания шлака в вяжущем фиксируется меньшая экзотермия, уменьшается содержание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , не способствующий повышению прочности бетона. Формирование Na-C-S-H в продуктах гидратации и более медленная гидратация способствуют снижению прочности образцов из активированных жидким стеклом смесей [1].

Хотя сильные щелочные активаторы, такие как NaOH и  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , предпочтительны для получения высокой ранней прочности, в природе они не существуют и процесс их производства достаточно энергоёмкий.

При высоком содержании шлака в смешанном цементе (64%), активированном  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , продукты гидратации представлены гидросиликатным гелем C-S-H, этtringитом, гидрогранатом и OH-гидротальцитом. Сравнимый с портландцементным камнем потенциал самозалечивания повышается с увеличением доли шлака [2].

Микроэлементы имеют важное значение – влияние MnO всегда отрицательно, а  $\text{P}_2\text{O}_5$  и оксиды щелочных металлов влияют более сложно [3].

Химический состав 10 различных проб шлака представлен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав шлака

Показатель	Среднее значение, %	Диапазон колебания значения, %	Требования ТУ 0799-001-991 26491-2013, %	Соответствие требованиям ТУ 0799-001-99126491-2013
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,89	9,7–11,8	не менее 8,0	соответствует
CaO	39,43	37,2–42,6	35,0–45,0	соответствует
Fe <sub>общ</sub>	0,26	0,23–0,56	0,2–1,0	соответствует
K <sub>2</sub> O	1,09	0,56–1,45	1,0–1,5	соответствует
MgO	7,32	5,8–10,4	не более 15,0	соответствует
MnO	0,56	0,33–0,74	не более 2,0	соответствует
Na <sub>2</sub> O	0,71	0,53–0,89	0,5–1,0	соответствует
TiO <sub>2</sub>	0,69	0,53–0,84	не более 4,0	соответствует
SiO <sub>2</sub>	40,65	37,0–41,3	35,0–45,0	соответствует
S <sub>общ</sub>	0,29	0,15–0,92	не более 1,0	соответствует

Для более полной оценки качества шлака определяли дополнительные характеристики химического состава по ГОСТ 3476 и EN 197-1.

Средний модуль основности шлака составляет 0,92, что соответствует шлаку кислому, близкому к нейтральному. Диапазон возможного колебания значений модуля основности от 0,90 до 0,98.

Коэффициент качества при MgO<10% составляет 1,37.

По этому показателю в соответствии с ГОСТ 3476-74 шлак относится к 3 сорту и доменный гранулированный шлак соответствует требованиям EN 197-1.

Формулы по [4] и значения гидравличности ДГШ средние и интервалы варьирования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Гидравличность исследуемого шлака

№ пп	Формула	Рекомендуемое значение	Для испытываемого шлака	Соответствует
1	CaO/SiO <sub>2</sub>	1,3–1,4	0,97 (0,9–1,05)	Нет
2	(CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub>	Не менее 1,4	1,15 (0,93–1,43)	Иногда
3	(CaO+MgO)/(SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,0–1,3	0,93 (0,81–1,3)	Иногда
4	(CaO+0,56Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +0,4MgO)/(SiO <sub>2</sub> )	Не менее 1,65	1,18 (1,09–1,44)	Нет
5	(CaO+MgO+ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )/(SiO <sub>2</sub> )	Не менее 1	1,40 (1,12–2,2)	Да

Индекс шлаковой активности со временем повышается и в 180 ток достигает нормируемого по ASTM C 988 значения в 28 суток (не менее 75% по средним значениям и не менее 70 % для каждого значения).

Таким образом, по химическому составу и прочности исследуемый шлак относится к малоактивному, следовательно, для такого ДГШ актуальны проблемы активации.

Рентгенофазовый анализ шлака выявил содержание двух кристаллических фаз: геленита ( $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$ ) и гидрата геленита (гидратированного кальциево-алюминатного силиката  $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ). При этом на рентгенограмме имеется выраженная область гало, что указывает на его аморфизированное состояние. Минерал геленит при наличии активаторов твердения или при гидротермальной обработке может проявлять вяжущие свойства, при этом гидрат геленита в небольшом количестве образуется при обычных условиях и является стабильным соединением.

На дериватограмме выявляются потери влаги при ступенчатой дегидратации гидратированного кальциево-алюминатного силиката  $2\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$  в температурных интервалах 520...640 °С и 650...740 °С, что подтверждает данные рентгенофазового анализа.

Среднее количество стеклофазы, определенное для 5 различных проб шлака, составило 90,6%.

Микроскопический анализ показал, что частицы шлака имеют неправильную форму, поверхность стекловидная, частицы пропускают свет.

Частицы шлака сильно отличаются между собой по размерам: в основном это мелкие частицы от 0,2 до 5 мкм, но встречаются также довольно крупные агрегаты размером более 20 мкм. Средний размер частиц по результатам определения удельной поверхности составляет 5,7 мкм.

Диапазон колебания значений удельной поверхности (определяли прибором ПСХ- 12) составляет 342...414 м<sup>2</sup>/кг, среднее значение – 392 м<sup>2</sup>/кг.

Испытания образцов из шлака (возраст испытаний: 1 сутки с момента изготовления после теповлажностной обработки по режиму в соответствии с прило-

жением Б ТУ 0799-001-99126491) показали, что ДГШ не обладает гидравлической активностью. Изготовленные образцы не только не имели прочности после пропарки, но и после выдержки 28 суток в камере нормального твердения легко разрушались в руках.

Средняя активность шлака по реакции со щелочью составляет 10,3 МПа, что соответствует требованиям ТУ 0799-001-99126491- 2013.

1. K.I. Mun, S.U.So and Y.S.Soh The effect of slaked lime, unbudrous gypsum and limestoun on properties of blast furnace slag, cement mortar and concrete. – Construction and Building Materials, vol.21, issue 7, july 2007. – P. 1576-1582.
2. 2007. – P. 1576-1582.
3. H.Huang and G.Ye, D.Demidot Effect of blast furnace slag on self-healing of microcracks in cementitions materials.- Cement and concrete research, vol.60, june 2014. – P. 68-82.
4. Тейлор Х. Химия цемента : пер. с англ. / Х.Тейлор.– М.: Мир, 1996. – 560 с.
5. H.G.Smolozyk The effect of chemistry of slag on the strength of blast furnace cements.- Zem-Kalk-Gips, 31(6), 1978. – P. 294-296.
6. Высоцкий, С. А. Эффективность тепловой обработки бетонов на шлакопортландцементях различного состава.: автореф. канд. дис. / С. А. Высоцкий – М.: НИИЖБ, 1978. – 28 с.

#### 1.4.2 Модификации при помощи активных минеральных добавок

Минеральные добавки – это тонкоизмельченные материалы, которые добавляются в бетон в пределах от 20 до 100 % от массы цемента. Кроме существующих природных пуццолан, также применяются техногенные материалы. Производят искусственные минеральные добавки в виде побочных тепловые электростанции, топливом для которых являются уголь или рисовая шелуха, а также металлургические печи, участвующие в процессе выплавки никеля, чугуна, стали, меди, свинца, ферросплавов и ферросилиция. Отходы, образуемые этими предприятиями, должны быть надлежащим образом переработаны или захоронены. Сброс отходов в отвалы вредит окружающей среде. Утилизация в качестве заполнителей для бетона или других нужд строительства не слишком выгодна экономически. Однако, использование пуццолановых и вяжущих свойств некоторых отходов их предприятий, в качестве компонентов для бетона делает их применение экономически целесообразным [33].

В Европе широко развито производство смешанного портландцемента, с содержанием пуццолановых и других активных добавок. Ряд причин от экономиче-

ских до экологических, в США и Канаде привёл к оживлению интереса к использованию отходов различных производств как АМД для бетона.

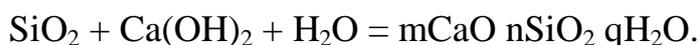
Цены на природные и искусственные пуццоланы настолько разнятся с ценой на цементы, что использование пуццолановых добавок для частичной замены цемента позволяет получить ощутимый экономический эффект. Введения АМД в бетон при правильной дозировке повысит его непроницаемость и химическую стойкость, снизит трещинообразование при ТО и конечно же повысит предел прочности.

Согласно работам [44,47], в которых изложены данные о влиянии на структура цементного камня микрокремнезема, последний активно связывается с гидроксидом кальция, уплотняет структуру новообразованными гидросиликатами кальция C–S–H [43,48].

В работах [49-51], представленные модели структур гидросиликатов кальция, также в случаях с разным соотношением C/S. Данные работы подтвердили переменность минералогии кристаллов C–S–H при твердении цементного камня.

При использовании микрокремнезема в составе силикатных автоклавных газобетонов согласно работам [52,53] понадобится улучшения физико-механических характеристик.

Реакция микрокремнезема с гидроксидом кальция выглядит следующим образом:



В обычных условиях, то есть при отсутствии добавки микрокремнезема, образуются крупные гидросиликаты (рис. 3). Такие кристаллы обладают меньшей прочностью по сравнению с низкой основными силикатными кальция, а значит более низкими механическими показателями.



Рисунок 3 – Макроструктура цементной матрицы с кристаллами гидроксида кальция (при 1500-кратномувеличении)



Рисунок 4 – Микроструктура образцов с высолами на поверхности новообразований; образец с добавлением микрокремнезема

Игольчатые гидросиликаты, в затвердевшей структуре цементного камня, возможно получить ведение микрокремнезема с водой затворения состав прессованных изделий (рис. 4).

Согласно работе [54], при температуре 930°C на кривой ДСК экзотермическим эффектом определяются низкие основные гидросиликаты (рис. 5).

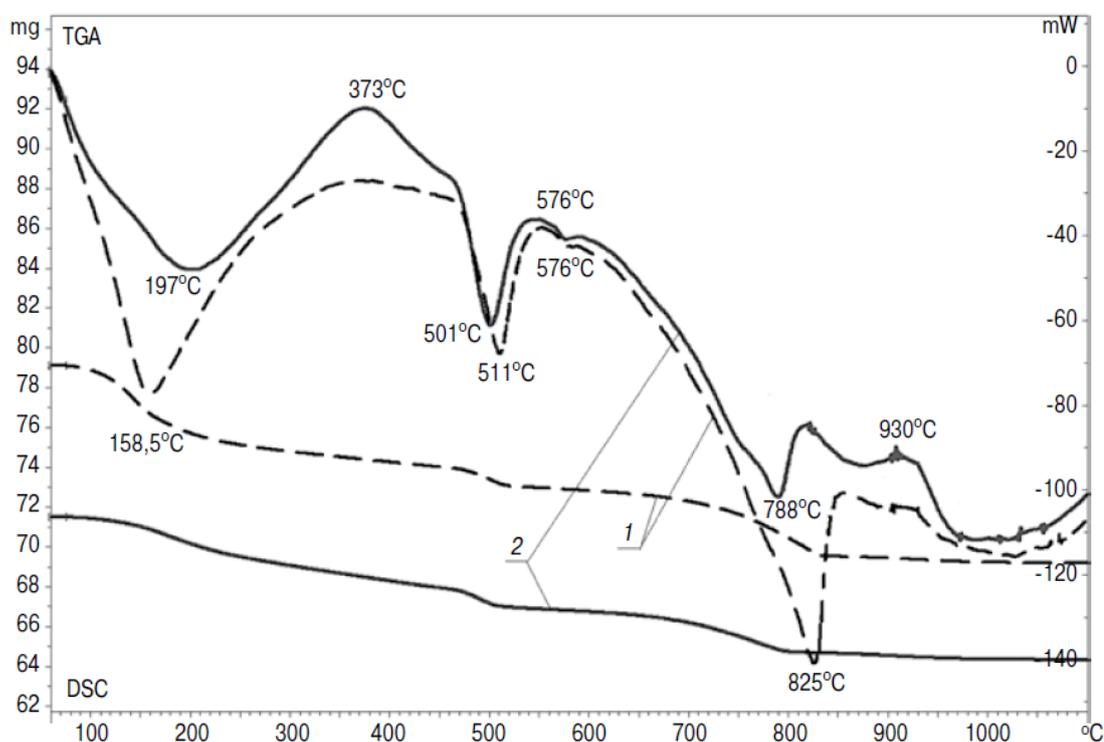


Рисунок 5 – Дифференциально-сканирующая калориметрия образцов после высолообразования: 1 – контрольный образец (без микрокремнезема); 2 – образец с микрокремнеземом МК-85

Появление гидросиликатов кальция с разным модулем основности определяется эндотермическими эффектами в диапазоне температур 700-850 °С.

Дегидратация кристаллогидратной воды в образцах с микрокремнеземом наблюдается при температуре 788 °С в контрольных образцах 825 °С.

Ведение кремнезёма в количестве 5 % вызовет уплотнения микроструктуры игольчатыми ГСК и пластинчатыми новообразованиями на основе гидросиликат кальция (рис. 6).



Рисунок 6 – Микроструктура цементного камня с добавкой дисперсии микрокремнезема (5 % от массы портландцемента)

При повышении содержания микрокремнезема до 8 % происходит существенное изменение микроструктуры прессованных изделий. А именно наблюдается увеличение общего числа ГСК игольчатой структуры (рис. 7), по сравнению с образцами с содержанием МК в количестве 5 %



Рисунок 7 – Микроструктура с добавкой с добавкой дисперсии микрокремнезема (8 % от массы портландцемента)

## ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

1. Выявлено, что бетон – это один из распространенных строительных материалов и обладает рядом важных свойств и качеств: прочность, долговечность, универсальность и др.

2. На основе литературных данных было обнаружено, что в теле бетона, твердевшего в нормальных условиях, без введения специальных добавок в состав бетона, пористость изделий достаточно велика, что не способствует высокой сульфатостойкости.

3. Установлено, что высокая пористость и как следствие низкая сульфатостойкость, а также химическое взаимодействие продуктов гидратации рядового цемента ограничивают спектр изделий и сооружений в которых можно применять бетоны, в качестве конструкционного материала.

4. Выявлены способы повышения сульфатостойкости бетона различными способами.

5. Выявлено, что введение в состав бетонной смеси доменного гранулированного молотого шлака является одним из самых эффективных способов повышения сульфатостойкости бетона.

6. Установлено, что использование доменного молотого гранулированного шлака более эффективно в комплексе добавок, в состав которого обязательно должен входить суперпластификатор и ускоритель твердения.

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы: Разработка состава сульфатостойкого бетона класса не ниже В30 на основе шлакопортландцемента для изделий и конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах.

Задачи:

1. выявить оптимальные соотношения цемента, шлака и химической добавки для создания сульфатостойкого бетона;
2. определить свойства бетонов, полученных на данных соотношениях материалов;
3. выбрать наиболее эффективный из полученных составов и изучить структуру сульфатостойкого бетона на оптимальном соотношении;
4. сравнить свойства и себестоимость бетонов традиционных составов с бетоном, с использованием шлака и добавок.

## 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 2.1 Методы исследования

В настоящее время свойства используемых материалов изучается при помощи применения большого количества методик, это связано с тем, что только совместный подход к изучению характеристик материалов приводит к наиболее точному получению результатов.

Для того, чтобы решить задачи, которые были поставлены в данной работе, необходимо изучить следующие характеристики: состав и свойства сырьевых материалов, цементно-песчаного раствора, бетонной смеси и бетона. Для определения всех характеристик и свойств использовались общепринятые и установленные методы согласно ГОСТ.

#### 2.1.1 Свойства сырьевых материалов

2.1.1.1 Определение нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста

Оба параметра определялись согласно ГОСТ 310.3-76 на приборе Вика [15].

2.1.1.2 Определение тонкости помола цемента и доменного гранулированного молотого шлака по остатку на сите.

Тонкость помола определялась по остатку на сите, испытание проводилось согласно ГОСТ 310.2-76 [16] для цемента, и согласно ТУ 0799-001-99126491-2013() для доменного гранулированного молотого шлака.

2.1.1.3 Определение загрязняющих примесей в крупном и мелком заполнителях.

Для мелкого заполнителя определение загрязняющих примесей проводилось согласно методике по ГОСТ 8736-2014 [17].

Для крупного заполнителя определение загрязняющих примесей проводилось согласно методике по ГОСТ 8269.0-97 [18].

## 2.1.2 Свойства бетонной смеси

### 2.1.2.1 Определение подвижности бетонной смеси

Подвижность бетонной смеси определялась согласно ГОСТ 10181-2014 «Смеси бетонные. Методы испытаний». Подвижность бетонной смеси оценивали по осадке конуса, отформованного из бетонной смеси [19].

### 2.1.2.2 Определение сохраняемости подвижности

Оценка сохраняемости достигнутой ОК бетонной смеси заключается в получении данных об изменении характеристик в течение некоторого времени. Определялась согласно ГОСТ 10181-2014 и ГОСТ 30459-2008[19,29].

## 2.1.3 Свойства бетона

Для определения прочности бетона при сжатии, на растяжение при изгибе, средней плотности, сульфатостойкости изготавливались образцы-кубы с ребром 10 см и образцы – призмы квадратного сечения с размерами 4x4x16 см. Образцы формовались в металлических формах по ГОСТ 22685-1989 «Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия» [21].

### 2.1.3.1 Прочность при сжатии, на растяжение при изгибе

Проводилось испытание по методике ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» [22].

### 2.1.3.2 Средняя плотность бетона

Перед испытанием образцы взвешивали и измеряли их линейные размеры с погрешностью не более 1 % с целью определения их средней плотности, по ГОСТ 12730.1-78 [23].

### 2.1.3.3 Сульфатостойкость бетона

Для определения сульфатостойкости бетона использовалась методика, описанная в ГОСТ 27677-88 [24].

### 2.1.4 Дифференциально-термический анализ

Природа дифференциально-термического анализа основывается на изучении фазовых изменений или превращений, происходящих в материале при его нагревании, по сопровождающим физико-химические превращения тепловым эффектам.

Эндотермические эффекты на дифференциальной кривой могут быть вызваны следующими физико-химическими процессами: дегидратацией вещества, диссоциацией, некоторыми полиморфными превращениями, плавлением. Причинами экзотермического эффекта могут быть: реакции окисления или образования новых соединений, полиморфные превращения, сопровождающиеся переходом неустойчивой при данной температуре модификации в устойчивую, переход из аморфного состояния в стабильное или метастабильное кристаллическое.

Нагрев проводился до температуры 1000 °С, скорость подъема температуры – 10 °С /час.

### 2.1.5 Математический метод планирования эксперимента

Для того, что бы выявить зависимость соотношения цемента и доменного гранулированного молотого шлака на сульфатостойкость бетона, а также для построения математических моделей изучаемых процессов и их статистического анализа в данной работе применялось математическое планирование эксперимента. Оно содержит в себе: обоснование, выбор плана эксперимента; постановку экспериментов по данному плану с нужным числом повторений; математическую обработку полученных данных экспериментов для установления регрессионных зависимостей; а так же оценку данных зависимостей [65].

## 2.2 Характеристика сырьевых материалов

### 2.2.1 Цемент

В качестве вяжущего в работе применялся цемент ЦЕМ I 42,5Н по ГОСТ 30515-2013, ГОСТ 31108-2016 производства ООО «Дюккерхоф Коркино цемент». Минералогический состав цементного клинкера представлен в таблице 3 [16-18].

Таблица 3 – Минералогический состав клинкерной части

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
64,0...64,2	9,9...10,1	6,37..6,43	13,9...14,3

Химический состав цемента приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав цемента

Содержание основных оксидов в составе цемента, % по массе								ППП, %
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O +K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	
19,85	5,05	4,39	64,09	1,39	0,38	2,69	0,006	0,89
...	...	...	...	...	...	...	...	...
19,95	5,15	4,41	64,11	1,41	0,42	2,71	0,008	0,91

Свойства применяемого цемента приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Свойства цемента

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 30515;31108 [66, 68]
Нормальная плотность, %	27,4-27,8	–
Начало схватывания	3 ч 00 мин...3 ч 20 мин	Не ранее 60 мин
Конец схватывания	5 ч 00 мин...5 ч 10 мин	Не позднее 10 ч
Остаток на сите №008, %	5,0...5,2	Не более 15
Удельная поверхность	3500...3600 м <sup>2</sup> /кг	–

## 2.2.2 Вода

Для приготовления бетонов и растворов, а также для приготовления растворов химических добавок необходимо использовать воду, которая удовлетворяет требованиям ГОСТ 23732-2011 ().

Содержание в воде органических поверхностно-активных веществ, сахаров или фенолов каждого в отдельности не должно быть больше 10 мг/л.

Вода не должна содержать пленки нефтепродуктов, жиров и масел.

В воде не должно содержаться окрашивающих примесей, так как к бетону блоков ригелей предъявляются довольно высокие требования технической эстетики.

Содержание в воде растворимых солей, ионов  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$  и взвешенных частиц не должно превышать значений, указанных в таблице 6 [34].

Таблица 6 – Требования к воде затворения

Назначение воды	Максимально допустимое содержание, мг/л			
	раствори- мых солей	ионов $\text{SO}_4^{-2}$	ионов $\text{Cl}_1$	взвешенных частиц
Вода для затворения бетонной смеси при изготовлении железобетонных конструкций	2000	600	350	200

Водородный показатель воды (рН) должен быть от 4 до 12,5 [34].

## 2.2.3 Мелкий заполнитель

В качестве мелкого заполнителя применялся кварцевый песок Хлеборобского месторождения по ГОСТ 8736-2014 [19].

Зерновой состав песка определяется гранулометрическим составом, приведенным в таблице 7. На рисунке 8 представлены также границы крупности песка для различных классов бетона по ГОСТ 26633-2015 [23].

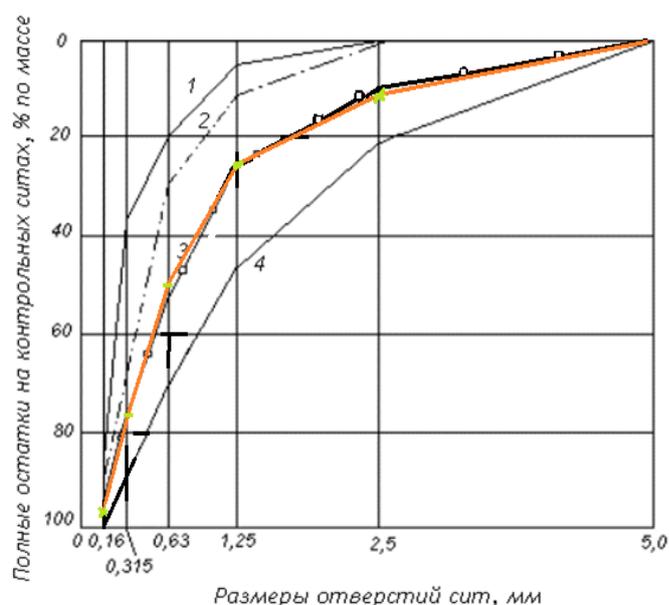


Рисунок 8 – График зернового состава мелкого заполнителя для бетона: 1 – нижняя граница крупности песка; 2 – нижняя граница крупности песка для бетонов класса В15 и выше; 3 – нижняя граница крупности песка для бетонов класса В25 и выше; 4 – верхняя граница крупности песков; 5 – кривая просеивания исследуемого материала.

Таблица 7 – Гранулометрический состав песка

Остатки	Остатки, % по массе, на ситах					Проход через сито с сеткой № 016, % по массе
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Частные	9,1	7,7	16,3	29,1	34,6	0,26
	...	...	...	...	...	...
	9,3	7,9	16,5	29,3	34,8	0,28
Полные	9,1	16,9	33,3	62,5	97,2	—
	...	...	...	...	...	
	9,3	17,1	33,5	62,7	97,4	

Модуль крупности песка составил 2,21...2,25, что лежит в пределах 2,0...2,5 для средней группы песка [57].

Свойства песка отображены в таблице 8.

Таблица 8 – Свойства песка

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 8736-2014 [17], соответствующие II классу
Модуль крупности	2,21...2,25	2,0...2,5
Содержание зерен >10 мм, %	0,20...0,24	Не более 5
Содержание зерен 10...5 мм, %	6,4...6,6	Не более 15
Содержание зерен <0,16 мм, %	7,2...7,4	Не более 15
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2275...2315	–
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2450...2550	2000...2800*
Содержание глинистых и пылевидных частиц, %	1,9...2,1	Не более 3
Пустотность, %	7,8...8,2	–

Примечание – в очень мелком природном песке класса II, по согласованию с потребителем, возможно содержание пылевидных и глинистых частичек до 7 % от массы;

\*согласно ГОСТ 26633 Мелкие заполнители должны иметь среднюю плотность зерен от 2000 до 2800 кг/м<sup>3</sup> [24].

В зависимости от значений полученных характеристик (зернового состава, количества пылевидных и глинистых частиц) исследуемый песок относится ко II классу.

#### 2.2.4 Крупный заполнитель

Как крупный заполнитель для бетона применяли гранодиоритовый щебень Казанцевского карьера по ГОСТ 8267-93 [12]. Гранулометрический состав щебня представлен в таблице 9.

Таблица 9 – Гранулометрический состав щебня

Остатки на ситах	Размеры отверстий сит, мм			
	20	10	5	<5
Полные остатки по ГОСТ 8267 [12], %	До 10	30...60	90...100	95...100
Частные, %	4,8...5,2	61,6...61,8	31,6...31,8	1,5...1,7
Полные, %	4,8...5,2	66,6...66,8	98,3...98,5	98,4...100

– наибольший и наименьший размеры зерен щебня в смеси фракций составили соответственно 20 и 5 мм;

– количество зерен лещадной формы по фракциям 10...20 и 5...10 мм соответственно составляет 10,5 и 13,5 %, следовательно, используемый щебень по содержанию зерен пластинчатой и игловатой форме относится ко второй группе [71];

– насыпная плотность щебня смеси фракций равна 1450 кг/м<sup>3</sup>;

– истинная плотность – 2660 кг/м<sup>3</sup>;

– пустотность щебня – 25,2 %;

– количество пылевидных и глинистых частичек – 0,8 %.

#### 2.2.5 Доменный гранулированный шлак

Основным компонентом для повышения сульфатостойкости получаемого бетона является доменный гранулированный шлак производства ООО «Мечел-Материалы». По физико-химическим показателям шлак доменный гранулированный молотый (ДГМШ) (ТУ 0799-001-99126491-2013) () должен соответствовать требованиям, указанным в таблице 10.

Таблица 10 – Требования к ДГМШ

Показатель	Значение показателя в соответствии с ТУ 0799-001-99126491-2013
Размер зерна: Содержание фракции, <0,080 мм, % Содержание фракции, <0,020 мм, %	Не менее 98,0 Не менее 60,0
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	2700-3000
Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	980-1350
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Не менее 450
Содержание оксида кальция (CaO), %	35,0-45,0
Содержание оксида магния (MgO), %	≤15
Содержание оксида калия (K <sub>2</sub> O), %	1,0-1,5
Содержание оксида натрия (Na <sub>2</sub> O), %	0,5-1,0
Содержание оксида железа (FeO), %	0,2-1,0
Содержание оксида алюминия (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %	≥8
Содержание оксида кремния (SiO <sub>2</sub> ), %	35,0-45,0
Содержание оксида титана (TiO <sub>2</sub> ), %	≤4,0
Содержание серы, %	≤1.0
Модуль основности, %	0,95-1,10
Влажность, %	Не более 0,3
Содержание стекловидной фазы, %	Не менее 66,6
Активность шлака молотого естественного твердения в н.у. в возрасте 28 сут., не менее МПа	10
Удельная активность радионуклидов, Бк/кг	Не более 370

## 2.2.6. Комплексная добавка «Реламикс Т-2»

Комплексная добавка «Реламикс Т-2» представляет из себя суперпластификатор и ускоритель твердения в виде водного раствора для введения в бетоны и строительные растворы производства ООО «Полипласт-УралСиб».

Основу комплексной добавки «Реламикс Т-2» составляет промышленная смесь роданида и тиосульфата натрия и полинафталинметиленсульфоната натрия. Содержит примеси сульфата натрия и смолистых веществ.

«Реламикс Т-2» производится в жидкой и сухой форме: в виде водорастворимого порошка светло-коричневого цвета или водного раствора темно-коричневого цвета, имеющего концентрацию не менее 32 %. При хранении не выделяет вредных газов или паров.

«Реламикс Т-2» в сухом виде не изменяет своих свойств в интервале температур от +85 °С до -40 °С с последующим полным оттаиванием. Водный раствор суперпластификатора сохраняет свои свойства при нагревании до 60-65°С. При нагревании раствора выше указанной температуры компоненты добавки подвергаются частичной деструкции, что снижает пластифицирующий эффект. По этой же причине не рекомендуется предварительный разогрев бетонных смесей с химической добавкой «Реламикс Т-2».

Добавка «Реламикс Т-2» легко смешивается с другими добавками (гидрофобизаторами, ускоряющими, замедляющими, воздухоовлекающими), не вступая в химическую реакцию с ними и сохраняя свои свойства.

В процессе эксплуатации ЖБИ суперпластификатор «Реламикс» тип 2 не оказывает вредного влияния на организм человека. Добавка разрешена для применения в конструкциях, контактирующих с питьевой водой.

Введение добавки «Реламикс Т-2» по сравнению с бетоном без добавки позволяет достичь следующих показателей:

- увеличить подвижность бетонной смеси от П1 до П5 с одновременным повышением прочности бетона в первые трое суток нормального твердения на 10-15%, в возрасте 28 суток – на 5 %;

- снизить количество воды затворения от 21% и более (в подвижных смесях);
- увеличить конечные прочностные характеристики бетона на 20% и более (в равноподвижных смесях);
- увеличить прочностные характеристики в возрасте 1 суток на 30% и более (в равноподвижных смесях);
- снизить расход цемента до 22 % (в равноподвижных смесях);
- получить бетоны с повышенной водонепроницаемостью, морозостойкостью (в равноподвижных смесях);
- в 1,5 – 1,6 раза увеличить сцепление бетона с закладной арматурой и металлоизделиями;
- сократить время и энергетические затраты на тепловлажностную обработку бетона;
- значительно сократить время и энергетические затраты на вибрирование бетонной смеси, а в некоторых случаях полностью отказаться от него;
- увеличить оборачиваемость форм. ()

Ссылка на [Реламикс](#) | ТУ 5870-002-14153664-04 9 стр.

### 3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Подбор составов тяжелого бетона

Основной целью работы являлось разработать составы тяжелого сульфатостойкого бетона на основе шлакопортландцемента класса не ниже В30 на основе шлакопортландцемента для изделий и конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах.

Для разработки состава тяжелого сульфатостойкого бетона, был спланирован и реализован двухфакторный эксперимент. Факторами эксперимента являлись:

- Фактор X: соотношение цемента и доменного гранулированного шлака;
- Фактор Y: содержание комплексной добавки «Реламикс Т-2».

План-матрица эксперимента и свойства полученных композиций представлены в таблицах 112, 3.

Таблица 11 – План-матрица эксперимента

№ состава	Соотношение цемента и шлака		Содержание добавки	
	Кодовое значение	Цемент/шлак, %	Кодовое значение	В % от массы цемента
1	-1	36/64	-1	1,2
2	-1	36/64	0	1,7
3	-1	36/64	+1	2,2
4	0	50/50	-1	1,2
5	0	50/50	0	1,7
6	0	50/50	+1	2,2
7	+1	64/36	-1	1,2
8	+1	64/36	0	1,7
9	+1	64/36	+1	2,2

Таблица 12 – Результаты испытаний образцов кубов с ребром 10 см

Результаты испытаний кубов с ребром 10 см								
X1	X2	R, МПа, н.т.				R, МПа, пропарка, t=95°, φ=100%		
		1 сут	3 сут	7 сут	28 сут	12 меся- цев	1 сут	28 сут
0 (50/50)*	0 (1,7%)**	8,1	17,6	23,8	36,3	40,9	24,9	39,3
1 (64/36)*	1 (2,2%)**	11,5	21,1	26,9	38,7	41,2	27,9	40,5
-1 (36/64)*	-1 (1,2%)**	5,4	15,7	22,2	31,6	40,4	23,5	38,7
0 (50/50)*	1 (2,2%)**	9,6	19,2	25,3	37,0	41,0	26,1	39,7
0 (50/50)*	-1 (1,2%)**	6,5	16,5	23,0	35,7	40,9	24,0	39,5
1 (64/36)*	0 (1,7%)**	9,6	19,6	26,1	38,5	41,5	27,4	40,3
1 (64/36)*	-1 (1,2%)**	7,7	18,0	24,6	37,6	41,0	26,5	40,0
-1 (36/64)*	0 (1,7%)**	6,5	16,5	22,7	32,4	40,0	24,8	38,8
-1 (36/64)*	1 (2,2%)**	7,7	17,3	23,0	33,0	40,7	25,7	39,0

Таблица 13 – Результаты испытаний образцов балочек 4x4x16 см

Результаты испытаний балочек 4x4x16 см шлакоцементно-песчаного раствора 1:3 при подвижности 106-115 мм на встряхивающем столике							
X1	X2	R, МПа 28 сут. н.т.	R, МПа, (нормальная среда – хране- ние в воде при 20°C)		R, МПа, (агрессивная сре- да - 5% раствор сульфат натрия и 20°C)		Коэффициент потери проч- ности, % ***
			1 месяц	12 ме- сяцев	1 месяц	12 ме- сяцев	
0 (50/50)*	0 (1,7%)**	36,8	39,6	48,4	39,8	47,4	2,07
1 (64/36)*	1 (2,2%)**	39,0	43,2	50,3	43,4	47,0	6,56
-1 (36/64)*	-1 (1,2%)**	32,0	34,0	45,5	34,4	45,6	0
0 (50/50)*	1 (2,2%)**	37,5	40,5	48,8	40,6	47,6	2,46
0 (50/50)*	-1 (1,2%)**	36,1	38,7	48,2	38,8	46,5	3,53
1 (64/36)*	0 (1,7%)**	38,6	42,4	49,6	42,5	46,1	7,06
1 (64/36)*	-1 (1,2%)**	38,0	41,5	49,1	41,7	45,2	7,95
-1 (36/64)*	0 (1,7%)**	33,1	35,3	46,0	35,7	46,1	0
-1 (36/64)*	1 (2,2%)**	34,0	36,3	46,1	36,8	46,2	0

\*Соотношение цемента и шлака, в %;

\*\*Количество добавки от массы вяжущего, в %;

\*\*\* Отношение значений прочности образцов в возрасте 1 года находящихся в условиях агрессивной среды к значениям прочности образцов в возрасте 1 года находящихся в нормальных условиях.

Согласно результатам эксперимента, представленным в таблицах, очевидно, что увеличение доли доменного гранулированного молотого шлака в составе бетона снижает прочность, но повышает сульфатостойкость бетона. А химическая добавка «Реламикс Т-2» способствует быстрому набору прочности в ранние сроки

твердения, но не увеличивает ее в поздние сроки и не делает бетон более сульфатостойким.

Отклики из таблицы 11, позволяют сделать вывод, что наилучшими показателями по прочности обладает состав, где было 64% цемента, 36% шлака и 2,2% химдобавки, а по сульфатостойкости – составы с преобладанием шлака. Поэтому, для дальнейших экспериментов будут применяться эти дозировки, причем в составе с преобладанием шлака применим меньший расход добавки для удешевления бетонной смеси.

По результатам математического метода планирования были получены регрессионные уравнения следующего вида:

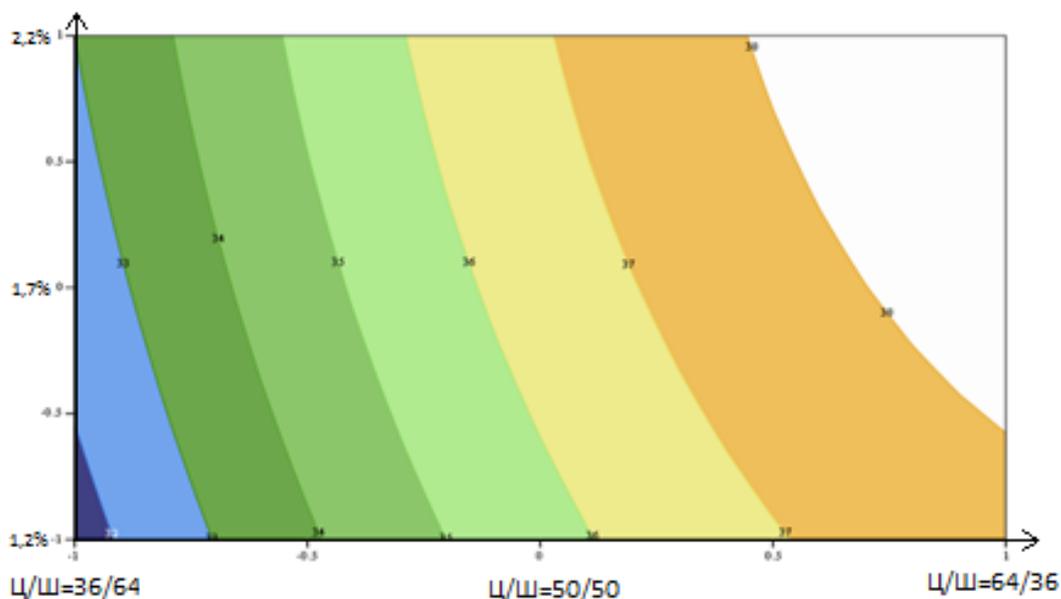
$$Ml(x,y) = b_0 + b_1x + b_2y + b_{11}x^2 + b_{22}y^2 + b_{12}xy, \quad (4)$$

где  $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$  – коэффициенты регрессионного уравнения;  $x, y$  – варьируемые факторы.

Значения коэффициентов  $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$  и Фишера (FR) для двухфакторных экспериментов представлены в таблице 15.

Таблица 14 – Значения коэффициентов регрессионных уравнений и Фишера

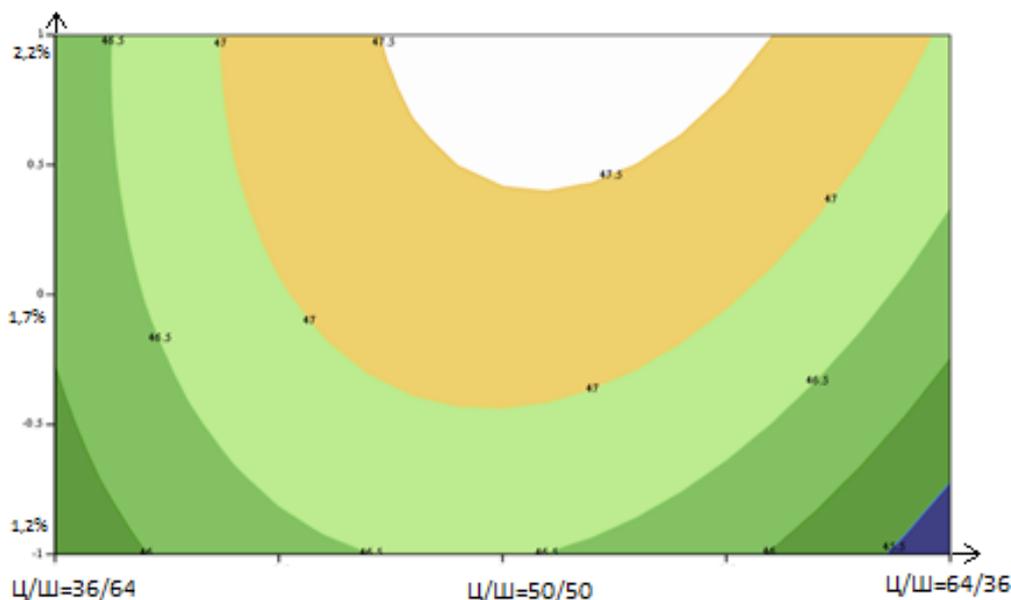
Коэффициенты	Значение коэффициентов при определении прочности при сжатии образцов кубов в различные сроки твердения				Значение коэффициентов при определении прочности при сжатии в различные сроки твердения у балок			Значение коэффициентов при определении коэффициента потери прочности после воздействия агрессивной среды
	1 сут. н.т.	1 сут. проп.	28 сут. н.т.	28 сут. проп.	28 сут. н.т.	393 сут. водное твердение	393 сут. после сульфата натрия	
$b_0$	8,07	25,06	36,42	39,43	36,84	48,50	47,29	2,44
$b_1$	1,53	1,30	2,97	0,72	2,75	1,85	0,07	3,60
$b_2$	1,53	0,95	0,63	0,17	0,73	0,35	0,58	-0,41
$b_{11}$	0,00	0,97	-1,03	0,05	-1,02	-0,75	-1,13	0,91
$b_{12}$	0,38	-0,20	-0,08	0,05	-0,25	0,07	0,30	-0,35
$b_{22}$	0,00	-0,08	-0,13	0,10	-0,07	-0,05	-0,18	0,37
FR	1,19	2,41	1,58	1,62	2,22	1,07	1,27	0,01



$$M(x, y) := 36,84 - 2,75x + 0,73y - 1,02x^2 - 0,25y^2 - 0,07xy$$

Рисунок 9 – Зависимость прочности балочек на цементно-песчаном растворе от соотношения цемента и шлака и содержания химдобавки на 28 сутки нормального твердения (коэффициент Фишера 2,22), МПа

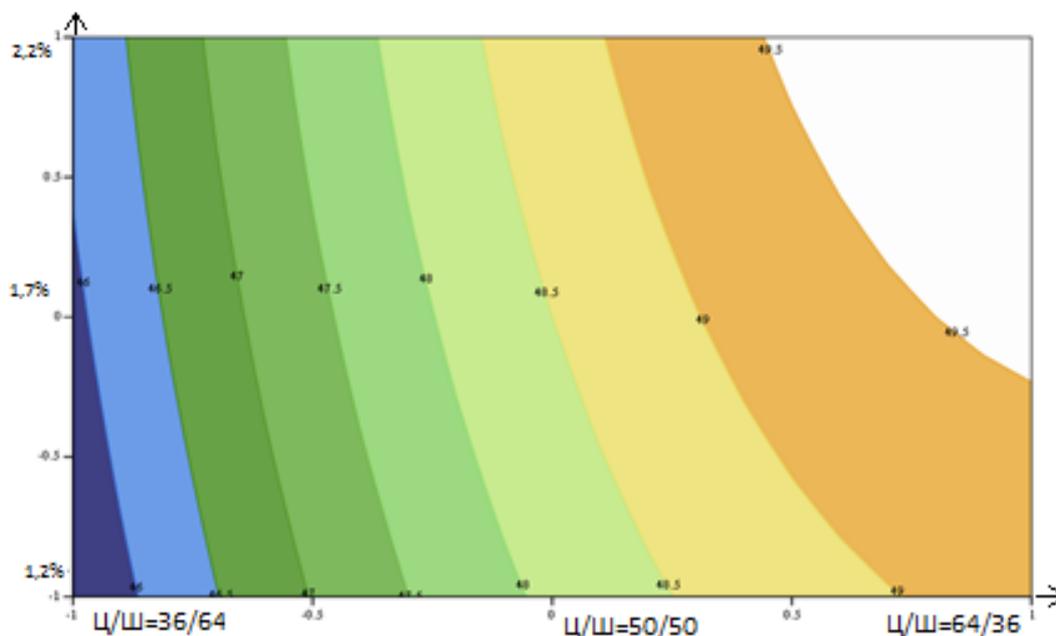
Характер расположения изолиний на рисунке 9 говорит о том, что главным фактором, оказывающим влияние на величину прочности на сжатие является увеличение доли цемента.



$$M(x, y) := 47,29 + 0,07x + 0,58y - 1,13x^2 + 0,30y^2 - 0,18xy$$

Рисунок 10 – Зависимость прочности балочек на цементно-песчаном растворе от соотношения цемента и шлака и содержания химдобавки на 393 сутки нахождения с 5%-ом растворе сульфата натрия (коэффициент Фишера 1,27), МПа

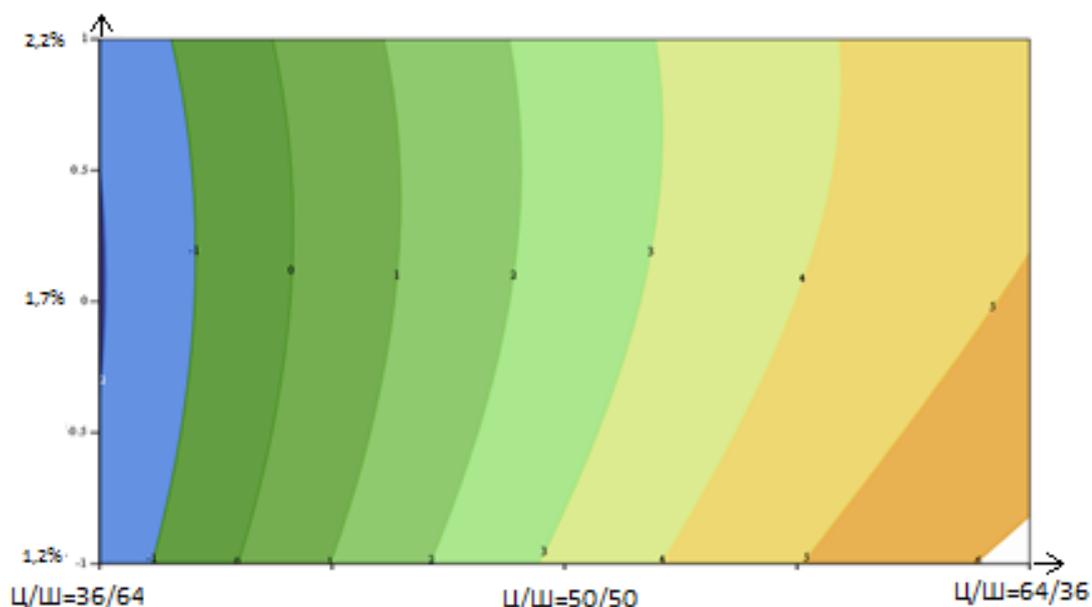
Анализируя рисунок 10, можно сказать, что наибольшую прочность продемонстрировал состав с равным содержанием цемента и шлака и средним расходом химдобавки.



$$M(x, y) = 48,5 + 1,85x + 0,35y - 0,75x^2 + 0,07y^2 - 0,05xy$$

Рисунок 11 – Зависимость прочности балочек на цементно-песчаном растворе от соотношения цемента и шлака и содержания химдобавки на 393 сутки водного твердения (коэффициент Фишера 1,07), МПа

Характер расположения изолиний на рисунке 11 говорит о том, что главным фактором, оказывающим влияние на величину прочности на сжатие является увеличение доли цемента, а роль химдобавки незначительна.



$$M(x, y) := 2,44 + 3,60x - 0,41y + 0,91x^2 - 0,35y^2 + 0,37xy$$

Рисунок 12– Зависимость значения коэффициента потери прочности от содержания цемента, шлака и химдобавки в цементно-песчаном растворе коэффициент (коэффициент Фишера 0,01), %

По рисунку 12 видно, что наибольшую потерю прочности имеют составы с максимальным содержанием цемента, а составы с преобладанием шлака не теряют прочностные показатели.

### 3.2 Получение сульфатостойкого бетона.

Проанализировав результаты предварительных экспериментов, было принято решение, что для исследований сульфатостойкости бетонов будут применены следующие дозировки компонентов: цемент: 64 и 36 %, доменный гранулированный молотый шлак 36 и 64 %, химическая добавка «Реламикс Т-2» – 1,2 и 2,2 % от массы вяжущего.

Решение применить доменный гранулированный молотый шлак обосновывается тем, что в масштабах всей работы исследование затрагивает проблемы эксплуатации изделий и конструкций, подвергнутых агрессивному воздействию сульфатной коррозии, особенно под землей. Запроектированные составы представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Составы применяемых бетонных смесей на 1 м<sup>3</sup>

№ со-става	Цемент, кг	Шлак, кг.	Щебень, кг.	Песок, кг.	Вода, кг.	Реламикс Т-2, кг.
1	220	220	1125	720	137	7,48
2	281,6	158,4	1125	720	137	9,68
3	158,4	281,6	1125	720	137	5,28
4	220	220	1125	720	137	9,68
5	220	220	1125	720	137	5,28
6	281,6	158,4	1125	720	137	7,48
7	281,6	158,4	1125	720	137	5,28
8	158,4	281,6	1125	720	137	7,48
9	158,4	281,6	1125	720	137	9,68

Согласно полученным данным, представленным в подборе составов тяжелого бетона, оптимальные результаты по показателям прочности при сжатии и сульфатостойкости были получены на составах №2 и №3. Основываясь на теоретических данных и полученных результатах и дериватографического (ДТ) анализа, можно сказать, что введение в состав бетона доменного гранулированного молотого шлака приводит к образованию низкоосновных гидросиликатов кальция слоистой структуры, увеличивающих сульфатостойкость и другие свойства материала.

На рисунках 13, 14, 15, 16 представлены результаты дериватографического анализа.

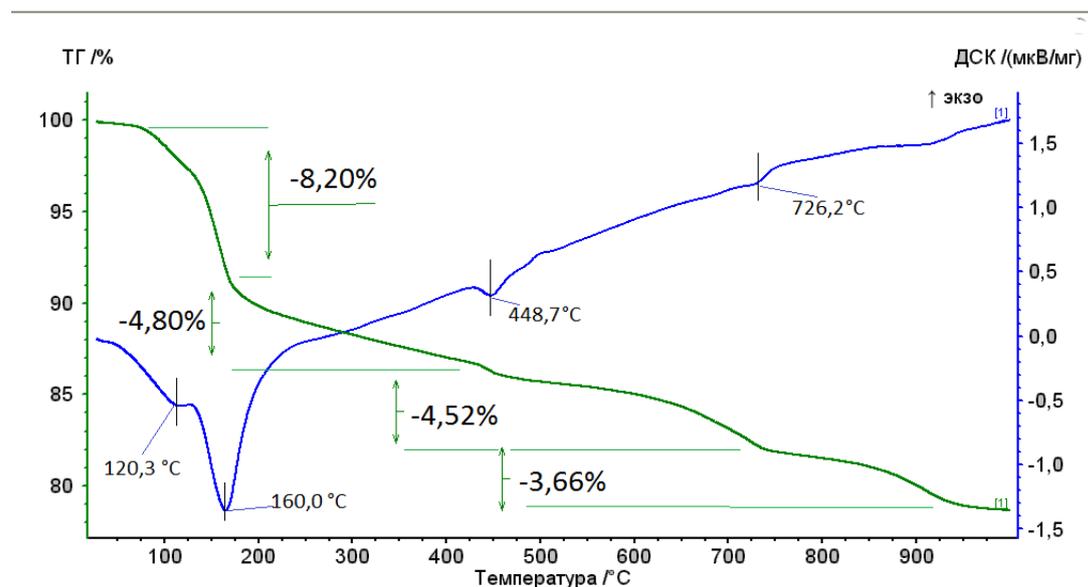
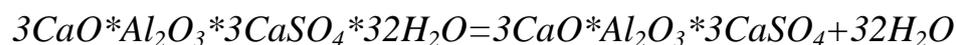


Рисунок 13 – ДТ анализ состава №2, подвергнутого воздействию 5%-го раствора сульфата натрия

Стехиометрические уравнения для определения этtringита и свободного гидроксида кальция:

1255

576

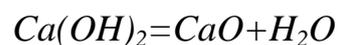


X = 14,2

6.5

74

18



X=4.1

1

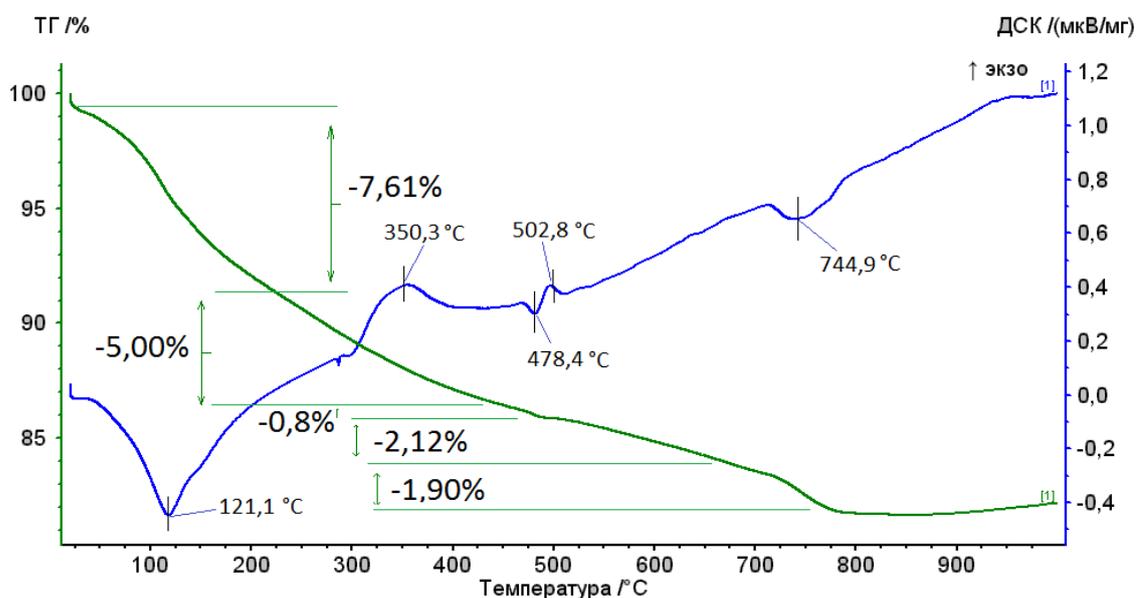
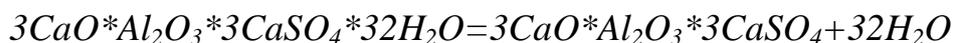


Рисунок 14 – ДТ анализ состава № 2, хранившегося в воде

Стехиометрические уравнения для определения этtringита и  
ного гидроксида кальция:

1255

576

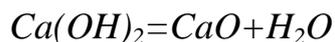


$X = 10,9$

5

74

18



$X = 2,1$

0,5

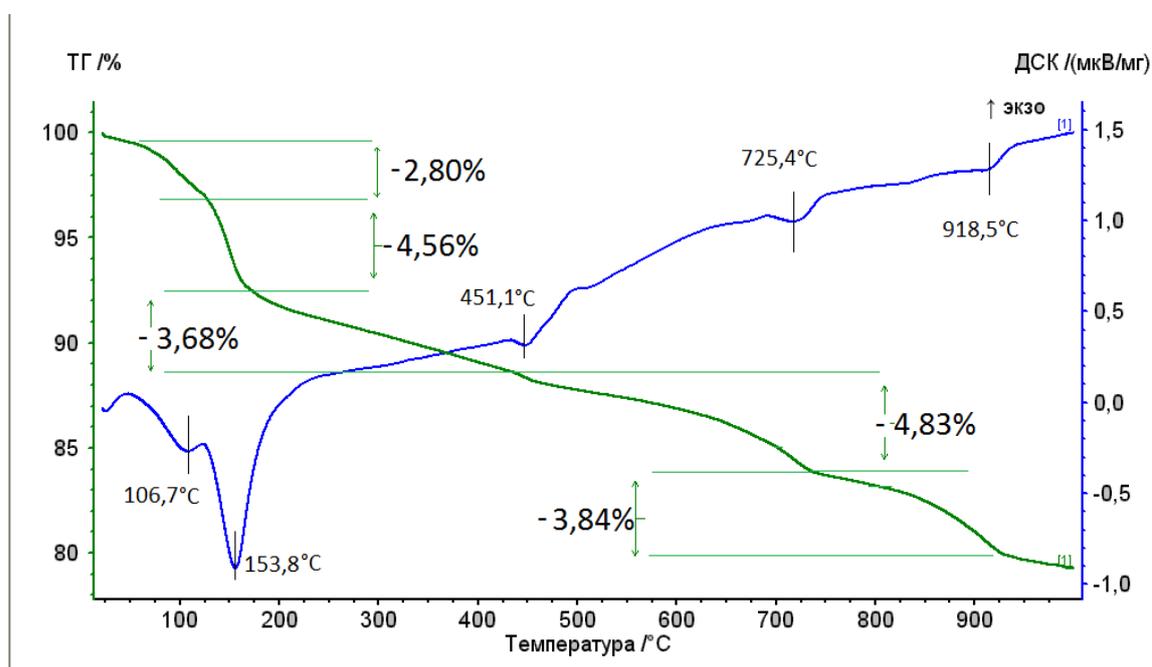
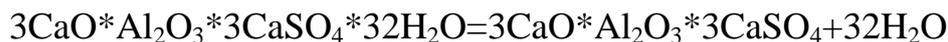


Рисунок 15 – ДТ анализ состава №3, подвергнутого воздействию 5%-го рас-  
твора сульфата натрия

Стехиометрические уравнения для определения этtringита и свободного гид-  
роксида кальция:

1255

576

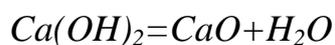


$X = 9,8$

4,5

74

18



$X = 2,5$

0,6

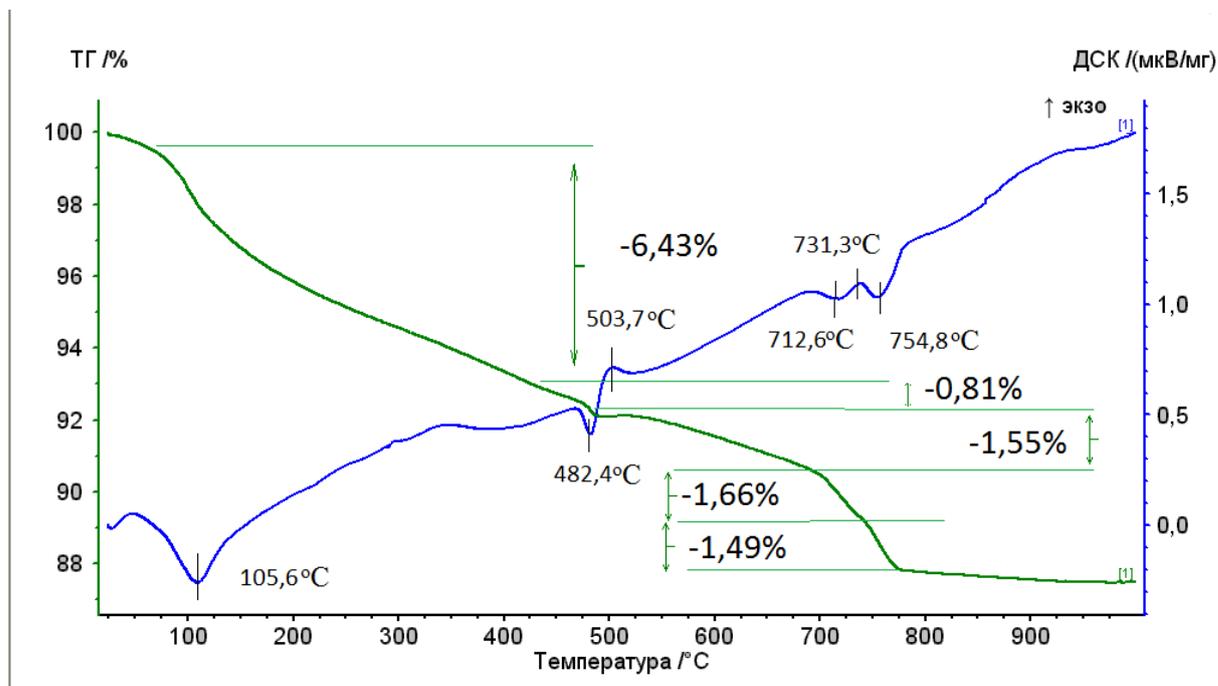
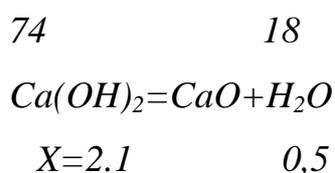
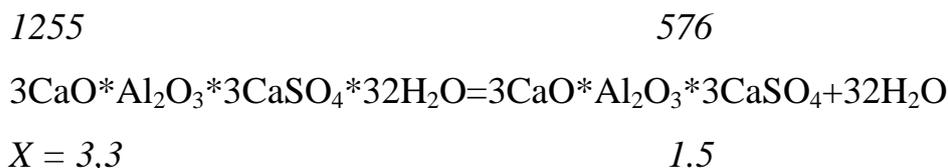


Рисунок 16 – ДТ анализ состава № 3, хранившегося в воде

Стехиометрические уравнения для определения этtringита и свободного гидроксида кальция:



По результатам ДТ анализа и рассчитанных стехеометрических уравнений, получено, что в составе №2 количество свободного гидроксида кальция выше, чем у состава №3, что объясняется соответственно большим количеством цемента. Также в составе №2 количество образовавшегося этtringита больше, чем у состава №3, что говорит о более сильно протекающей сульфатной коррозии у состава №2, что можно объяснить высоким содержанием цемента, образующего высокоосновные гидратные фазы, активно разлагающиеся сульфатом натрия.

## ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ

1. По результатам проведённых испытаний выявлено, что наибольшую прочность имеет состав с максимальным содержанием цемента и добавки, а сохранение прочности после воздействия сульфата натрия продемонстрировали составы с преобладанием шлака;

2. Увеличение доли шлака в составе бетона без тепловлажностной обработки приводит к существенной потере прочности к 28 суткам нормального твердения, но при дальнейшем хранении образцов в нормальных условиях снижение прочности не наблюдается;

3. Увеличение доли шлака в составе бетона после тепловлажностной обработки ведет к незначительной потере прочности и практически не снижается к 28 суткам нормального твердения;

4. Химическая добавка Реламикс Т-2 увеличивает прочность бетона при сжатии в ранние сроки твердения и не приводит к росту прочности в поздние сроки твердения, а также не повышает сульфатостойкость бетона;

5. В зависимости от требуемого класса бетона по прочности и агрессивного воздействия сульфатной коррозии можно рекомендовать все исследованные составы бетона, при этом необходимо учитывать, что максимальный расход химической добавки (2,2% от массы цемента) приводит к удорожанию бетонной смеси.

#### 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Таблица 14 – Составы экспериментальных бетонов

№ состава	Цемент, кг	Шлак, кг.	Щебень, кг.	Песок, кг.	Вода, кг.	Реламикс Т-2, кг.
1	220	220	1125	720	137	7,48
2	281,6	158,4	1125	720	137	9,68
3	158,4	281,6	1125	720	137	5,28
4	220	220	1125	720	137	9,68
5	220	220	1125	720	137	5,28
6	281,6	158,4	1125	720	137	7,48
7	281,6	158,4	1125	720	137	5,28
8	158,4	281,6	1125	720	137	7,48
9	158,4	281,6	1125	720	137	9,68

Таблица 15 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №1

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	220 кг	4 руб/кг	880
Песок	720 кг	0,3 руб/кг	216
Щебень	1125 кг	0,6 руб/кг	675
Вода техническая	137 л	0,15 руб/л	20,55
Шлак молотый доменный гранулированный	220 кг	1,9 руб/кг	418
Реламикс Т-2	7,48 кг	110 руб/кг	822,8
<b>ИТОГО:</b>			<b>3032,35</b>

Таблица 16 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №2

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	281,6 кг	4 руб/кг	1126,4
Песок	720 кг	0,3 руб/кг	216
Щебень	1125 кг	0,6 руб/кг	675
Вода техническая	137 л	0,15 руб/л	20,55
Шлак молотый доменный гранулированный	158,4 кг	1,9 руб/кг	300,96
Реламикс Т-2	9,68 кг	110 руб/кг	1064,8
<b>ИТОГО:</b>			<b>3403,61</b>

Таблица 17 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №3

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	158,4 кг	4 руб/кг	633,6
Песок	720 кг	0,3 руб/кг	216
Щебень	1125 кг	0,6 руб/кг	675
Вода техническая	137 л	0,15 руб/л	20,55
Шлак молотый доменный гранулированный	281,6 кг	1,9 руб/кг	535,04
Реламикс Т-2	5,28 кг	110 руб/кг	580,8
ИТОГО:			2660,99

Таблица 18 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №4

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	220 кг	4 руб/кг	880
Песок	720 кг	0,3 руб/кг	216
Щебень	1125 кг	0,6 руб/кг	675
Вода техническая	137 л	0,15 руб/л	20,55
Шлак молотый доменный гранулированный	220 кг	1,9 руб/кг	418
Реламикс Т-2	9,68 кг	110 руб/кг	1064,8
ИТОГО:			3274,35

Таблица 19 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №5

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	220 кг	4 руб/кг	880
Песок	720 кг	0,3 руб/кг	216
Щебень	1125 кг	0,6 руб/кг	675
Вода техническая	137 л	0,15 руб/л	20,55
Шлак молотый доменный гранулированный	220 кг	1,9 руб/кг	418
Реламикс Т-2	5,28 кг	110 руб/кг	580,8
ИТОГО:			2790,35

Таблица 20 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №6

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	281,6 кг	4 руб/кг	1126,4
Песок	720 кг	0,3 руб/кг	216
Щебень	1125 кг	0,6 руб/кг	675
Вода техническая	137 л	0,15 руб/л	20,55
Шлак молотый домен-	158,4 кг	1,9 руб/кг	300,96

ный гранулированный			
Реламикс Т-2	7,48 кг	110 руб/кг	822,8
ИТОГО:			3161,71

Таблица 21 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №7

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	281,6 кг	4 руб/кг	1126,4
Песок	720 кг	0,3 руб/кг	216
Щебень	1125 кг	0,6 руб/кг	675
Вода техническая	137 л	0,15 руб/л	20,55
Шлак молотый доменный гранулированный	158,4 кг	1,9 руб/кг	300,96
Реламикс Т-2	5,28 кг	110 руб/кг	580,8
ИТОГО:			2919,71

Таблица 22 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №8

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	158,4 кг	4 руб/кг	633,6
Песок	720 кг	0,3 руб/кг	216
Щебень	1125 кг	0,6 руб/кг	675
Вода техническая	137 л	0,15 руб/л	20,55
Шлак молотый доменный гранулированный	281,6 кг	1,9 руб/кг	535,04
Реламикс Т-2	7,48 кг	110 руб/кг	822,8
ИТОГО:			2902,99

Таблица 23 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №9

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	158,4 кг	4 руб/кг	633,6
Песок	720 кг	0,3 руб/кг	216
Щебень	1125 кг	0,6 руб/кг	675
Вода техническая	137 л	0,15 руб/л	20,55
Шлак молотый доменный гранулированный	281,6 кг	1,5 руб/кг	535,04
Реламикс Т-2	9,68 кг	110 руб/кг	1064,8
ИТОГО:			3144,99

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Главный приоритет в области охраны труда сегодня – это сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности. Соблюдение требований законодательства в области охраны труда является важной и неотъемлемой частью общей системы управления деятельностью предприятия залогом стабильности и улучшения экономического положения и благополучия всех сотрудников.

Цели предприятия в области охраны труда:

- обеспечение безопасности и здоровья сотрудников в процессе трудовой деятельности;
- гарантии прав работников на охрану труда;
- предупреждение травматизма, чрезвычайных, аварийных ситуаций, профессиональных заболеваний;
- неукоснительное исполнение требований охраны труда работодателем и работниками, ответственность за их нарушение.

Основные задачи предприятия в области охраны труда:

- создание условий, обеспечивающих соблюдение законодательства по охране труда, в том числе обеспечение безопасности эксплуатации зданий и сооружений, используемых в трудовом процессе оборудования, приборов и технических средств трудового процесса;
- повышение эффективности производственного контроля соблюдения требований охраны труда и промышленной безопасности;
- обеспечение доступности достоверной информации о состоянии условий и охраны труда;
- повышение уровня ответственности и обеспечение вовлеченности каждого работника, независимо от его профессии или должности в соблюдение обязанностей в области охраны здоровья и безопасности труда;

- обучение и проверка знаний по охране труда, в том числе, дание и совершенствование непрерывной системы образования в области обеспечения охраны труда;
- обеспечение снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов, связанных с возможностью нанесения ущерба жизни и здоровью работников, за счет применения современных средств коллективной и индивидуальной защиты, создания оптимальных режимов труда и отдыха;
- обеспечение соблюдения требований Федерального, регионального законодательства, международных соглашений, требований отраслевых стандартов и норм, регламентирующих деятельность в области охраны труда и промышленной безопасности;
- разработка и реализация программ, направленных на предупреждение несчастных случаев и профессиональных заболеваний;
- реализация компенсационных мер, направленных на возмещение работникам ущерба, нанесенного воздействием неблагоприятных условий труда, осуществление реабилитации работников при несчастных случаях на производстве и в случае профессиональных заболеваний, реализация для работников специальных программ оздоровления и санаторно-курортного лечения.

Охрана труда является системой законодательных актов и соответствующих им социально-экономических, технических, гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособность человека в процессе труда. Право на безопасный труд закреплено в Конституции РФ. В области охраны труда на предприятиях и в учреждениях основными законодательными актами являются Трудовой кодекс РФ, Гражданский кодекс РФ, Федеральный закон от 17 июля 1999 г. № 181-ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации", а также акты собранные в системе стандартов безопасности труда (ССБТ). На рисунке 17 представлена структура документации по охране труда.



Рисунок 17 – Структура законодательной и нормативной документации по охране труда

Ответственность за организацию и руководство работой по охране труда, а также ответственность за состояние работы по охране труда на предприятии возлагается на руководителя (директора, начальника, управляющего) и главного инженера предприятия.

## 5.1 Нормативные значения факторов рабочей среды

### 5.1.1 Микроклимат рабочей зоны

На микроклимат рабочей зоны оказывают влияние следующие показатели:

- температура воздуха;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового излучения.

Действующим нормативным документом, регламентирующим микроклимат производственной среды, является ГОСТ 12.1.005 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [8]. Сегодня заводы по производству сухих строительных смесей являются высоко автоматизированными и механизированными предприятиями и согласно ГОСТ 12.1.005 [8] работы на таком предприятии относятся к категории работ средней тяжести класса Па, интенсивность энергозатрат 151-200 ккал/ч (175-232 Вт).

Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в производственном помещении указаны в таблице 24.

Таблица 24 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в производственных помещениях [78]

Пе-риод года	Кате-гория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движе-ния воздуха, м/с	
		опти-мальная	допус-тимая	опти-мальная	допус-тимая, не более	опти-мальная, не более	допус-тимая
хо-лод-ный	Сред-ней тяже-сти Па	18-20	15-23	40-60	75	0,2	Не бо-лее 0,3
теп-лый	Сред-ней тяже-сти Па	21-23	17-27	40-60	65 (при 26 °С)	0,3	0,2-0,4

Производство химической добавки относится к производствам с условиями труда средней тяжести в связи, с чем системы отопления и вентиляции на данных предприятиях служат для создания необходимого микроклимата и контролируются нормативным документом СНиП 2.04.05-91\* «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [79].

#### 6.1.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны

При производстве химической добавки в процессе дозирования, а также перемешивания возможно образование минеральной пыли.

Предотвращать запыленность воздуха на предприятии позволяет система естественной вентиляции, соответствующая требованиям СНиП 2.04.05-91\* «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [79]. Кроме этого все оборудование, связанное с работой с сухими компонентами, должно быть герметично, должны использоваться системы пылеудаления и очистки, также должна производиться регулярная уборка пыли с использованием средств механизации.

Пыль является аэродисперсной системой, в которой частицы пыли, находясь в твердом состоянии, имеют размеры от десятых долей миллиметра до долей микрометра. В связи, с чем все рабочие должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты органов дыхания, а также очками. Кроме того, работники должны соблюдать меры личной гигиены такие, как ношение рабочей одежды, мытье рук перед приемом пищи, прием пищи в специально отведенных помещениях.

### 6.1.3 Освещение рабочей зоны

Нормирование производственного освещения ведется по СНиП 23-05-95\*(СП52.13330.20011) «Естественное и искусственное освещение» [80]. На предприятии по производству комплексной добавки предусмотрено, как и естественное, так и искусственное освещение, для обеспечения равномерного распределения яркости используется комбинированное освещение.

Естественное освещение помещений осуществляется через световые проемы в наружных стенах цеха, искусственное освещение обеспечивается при помощи нескольких блоков люминесцентных ламп.

Естественное и искусственное освещение на предприятии должно соответствовать нормам, указанным в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному и искусственному освещению жилых и общественных зданий» [81].

#### 6.1.4 Шум на рабочем месте

На производстве химической добавки основным источником шума является смеситель. Интенсивное шумовое воздействие вызывает в слуховом анализаторе изменения, составляющие специфическую реакцию организма. При длительном воздействии шума формируется повышение слуховых порогов, сначала медленно возвращающееся к исходному уровню (слуховое утомление), а затем сохраняющееся к началу очередного шумового воздействия (постоянное смещение порога слуха).

Шум является общебиологическим раздражителем и оказывает влияние не только на слуховой аппарат, но и на структуры головного мозга. Шум на рабочем месте вызывает вегетативные реакции организма, такие как нарушение периферического кровообращения, а также повышение артериального давления.

Некоторые неблагоприятные проявления воздействия шума на организм рабочего:

- снижение разборчивости речи;
- неприятные ощущения;
- развитие утомления и снижение производительности труда;
- появление шумовой патологии.

Гигиеническое нормирование шумов регламентируют ГОСТ12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» [14], СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [15].

Для борьбы с шумом на предприятии необходимо использовать шумобезопасную технику, средств и методы коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029 [15]., а также средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051 [16].

## 6.2 Безопасность производственных процессов и оборудования

Согласно статьи 212 главы 34 Трудового кодекса РФ обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя.

Работодатель обязан обеспечить:

- безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов;
- создание и функционирование системы управления охраной труда;
- применение прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке средств индивидуальной и коллективной защиты работников;
- соответствующие требованиям охраны труда условия труда на каждом рабочем месте;
- режим труда и отдыха работников в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права;
- приобретение и выдачу за счет собственных средств специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, смывающих и обезвреживающих средств, прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке, в соответствии с установленными нормами работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением;
- обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, проведение инструктажа по охране труда, стажировки на рабочем месте и проверки знания требований охраны труда;

- недопущение к работе лиц, не прошедших в установленном порядке обучение и инструктаж по охране труда, стажировку и проверку знаний требований охраны труда;
- организацию контроля за состоянием условий труда на рабочих местах, а также за правильностью применения работниками средств индивидуальной и коллективной защиты;
- проведение специальной оценки условий труда в соответствии с законодательством о специальной оценке условий труда.

На предприятии должны быть выполнены следующие мероприятия, обеспечивающие безопасность производственных процессов:

- К работе допускаются только лица, прошедшие инструктаж по охране труда на рабочем месте, обучение безопасным приемам и методам работы и проверка знаний;
- Конструкции производственного оборудования должны исключать опасные составляющие. Работник перед началом работы обязан проверить состояние и исправность оборудования;
- Размеры рабочего места и размещение его элементов должны соответствовать нормативным требованиям;
- К работе допускается работник в установленных нормативными документами средствах индивидуальной защиты;
- На территории производственного цеха запрещено находиться посторонним людям без соответствующего разрешения, а также не прошедших инструктаж по технике безопасности [84].

Правила безопасной эксплуатации производственного оборудования должны соответствовать требованиям СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве» пункт 7.3 Требования безопасности при эксплуатации стационарных машин [85].

### 6.3 Электробезопасность

Электробезопасность в производственном цехе обеспечивается конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами индивидуальной и общей защиты, организационными и техническими мероприятиями.

Безопасная эксплуатация электрических установок, работающих должна соответствовать ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты (с Изменениями №1)» [10]. При производстве комплексной добавки используют конструктивные меры защиты – зануление, заземление, системы защитного отключения и другие. Согласно ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» [14] заземление можно производить к естественным и искусственным заземлителям.

При использовании напряжения свыше 36 В должно обеспечиваться ограждение проводов и токоведущих частей. Значения ПДУ напряжения прикосновения токов, протекающих через тело человека, при аварийном режиме электроустановок для постоянного и переменного тока должны соответствовать нормативным значениям указанным в ГОСТ 12.1.038-82 «ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [15].

### 6.4 Пожаробезопасность

Противопожарная защита достигается использованием средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники: огнетушителей, пожарного инвентаря. Все средства пожаротушения должны находиться в исправном состоянии в доступных местах. На производстве источниками пожара может быть электрическое оборудование и легковоспламеняющиеся материалы.

Общие требования к пожарной безопасности должны соответствовать ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменениями №1)» [17].

Предприятие по производству химической добавки относится к категории «Д» по пожароопасности и должно быть обязательно оснащено системой пожарной сигнализации, пожарными гидрантами, а также первичными средствами за-

щиты от пожара. Кроме того, все работники в обязательном порядке ходят вводный инструктаж по правилам пожарной безопасности перед допуском к работе.

## 6 ЭКОЛОГИЯ

Экологическая безопасность является неотъемлемой частью национальной безопасности государства и отдельных регионов. Решение экологических проблем страны выступает основой сохранения природных систем и поддержания соответствующего качества окружающей среды. УрФО в течение многих лет развивал свой промышленный комплекс, в его состав входят предприятия черной и цветной металлургии, крупные машиностроительные предприятия, горнодобывающие и горно-обогатительные комбинаты, а также предприятия теплоэнергетики.

Промышленные предприятия региона ориентированы на использование природного сырья для производства промышленной продукции. Многолетняя деятельность промышленных предприятий приводит к истощению природных ресурсов, к ухудшению экологической обстановки и деградации природных систем. Предприятия промышленного сектора не являются безотходными производствами, поэтому ежегодно в процессе производства промышленной продукции образуются миллионы тонн промышленных отходов.

УрФО является лидером среди других регионов по объему образующихся и накопленных отходов, на территории только Челябинской области уже накоплено более 5 млрд. т отходов. Для размещения техногенных отходов используются сотни гектаров лесных и сельскохозяйственных угодий. Производственная деятельность предприятий приводит к ежегодному образованию 50 тысяч гектаров нарушенных земель, в среднем в год рекультивации подвергается 3,5 тысячи гектаров, что не может обеспечить своевременное возвращение земель в сельскохозяйственный оборот [89]. Для улучшения экологической ситуации на территории области, УрФО и по всей стране в целом необходимо производить промышленную продукцию на основе безотходных технологий. Безотходная технология производства основана на принципе, что отход от производства первой продукции является сырьем для производства второй. В качестве безотходной технологии может выступить совместная работа промышленных

предприятий и заводов по производству товарного бетона, заводов ЖБИ и заводов крупнопанельного домостроения. Тонкодисперсные отходы промышленных предприятий являются ценным сырьем для отрасли производства товарного бетона, бетонных и железобетонных конструкций. Их введение в состав бетона оказывает положительное влияние на его структуру, свойства и долговечность.

В дипломной работе разрабатывался сульфатостойкий тяжелый бетон компонентом которого является доменный гранулированный молотый шлак ООО «Мечел-Материалы».

ООО «Мечел-Материалы» является дочерним предприятием ОАО «Мечел». Для хранения отходов ОАО «Мечел» используются шлакоотвалы. Шлакоотвалы представляют собой сложные инженерно-технические сооружения, устраиваемые на естественных основаниях и ограниченные дамбами. В Челябинской области проблема утилизации отходов ОАО «Мечел» является актуальной. На сегодняшний день только 5-10 % шлакового сырья утилизируются разными отраслями строительства и промышленности. Большая часть отходов остается в шлакоотвалах, а учитывая их слабое потребление можно сделать вывод, что площадь шлакоотвалов только увеличится.

ОАО «Мечел» – крупнейший в стране производитель специальных сталей и сплавов, выпускающий наиболее широкий спектр данной продукции. «Мечел» занимает второе место в Российской Федерации по выпуску сортового проката. Побочные продукты производства отправляются на переработку или в шлакоотвалы.

Механизм воздействия шлакоотвалов на окружающую среду представлен на рисунке 18.

Отходы, скопившиеся в шлаковых отвалах, загрязняют и истощают почву, аэрогенный вынос шлакового материала загрязняет приземной слой атмосферы, оседание твёрдых частиц на прилегающей территории приводит к загрязнению почв и грунтов зоны аэрации. Инфильтрационным потоком происходит загрязнение подземных вод, разгрузка подземного потока вызывает загрязнение и

изменение водного режима поверхностного стока.

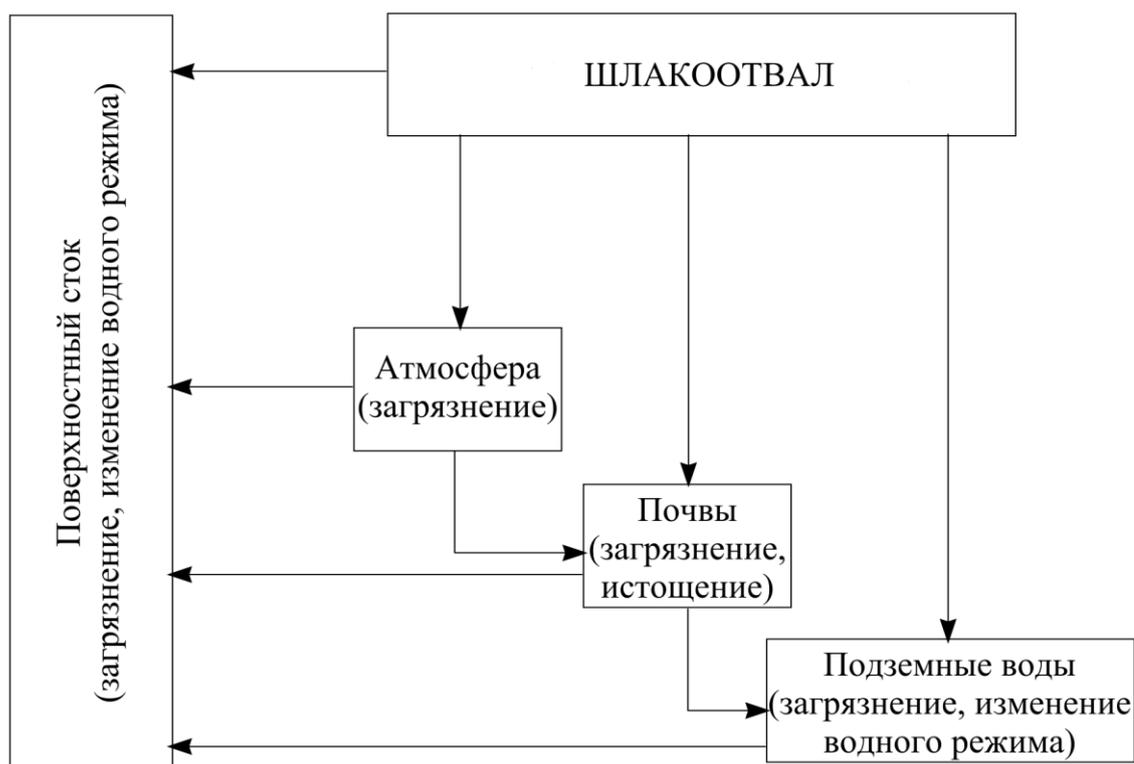


Рисунок 18 – Механизм воздействия шлакоотвалов на окружающую среду

Положительными эффектами применения сульфатостойкого тяжелого бетона будут являться:

- Рекультивация нарушенных земель;
- Снижение воздействия отходов промышленности на прилегающие территории;
- Снижение атмосферных загрязнений;
- Снижение загрязнения почв;
- Снижение загрязнения подземных вод и поверхностных стоков.

Переработка отходов промышленности позволит не только создать комплекс предприятий, основанных на принципах безотходной технологии производства промышленной продукции, но и сэкономить существенные денежные средства предприятиям, размещающим отходы на территории сельскохозяйственных и лесных угодий. Освободившиеся денежные средства предприятия могут перенаправить на ускоренную рекультивацию нарушенных земель. Также утилизация многотоннажных техногенных отходов существенно

улучшит экологическую обстановку в областях расположения промышленных предприятий. Кроме того, использование в производстве товарного бетона вторичного сырья позволит снизить расход дорогих природных материалов.

## ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основе литературных данных были выявлены основные характеристики бетона и области его применения.
2. Установлено, что разработанные составы бетона обладают хорошей сульфатостойкостью.
3. Как показали рисунки дифференциально-термического анализа, чем выше доля цемента, тем больше образуется этtringита, что свидетельствует о развитии сульфатной коррозии.
4. Выявлено, что себестоимость производства разработанных бетонов сравнима с ценой обычных бетонов и становится ниже при увеличении доли шлака и уменьшении долей цемента и химической добавки.
5. По результатам проведённых испытаний выявлено, что наибольшую прочность имеет состав с максимальным содержанием цемента и добавки, а сохранение прочности после воздействия сульфата натрия продемонстрировали составы с преобладанием шлака;
6. Увеличение доли шлака в составе бетона без тепловлажностной обработки приводит к существенной потере прочности к 28 суткам нормального твердения, но при дальнейшем хранении образцов в нормальных условиях снижение прочности не наблюдается;
7. Увеличение доли шлака в составе бетона после тепловлажностной обработки ведет к незначительной потере прочности и практически не снижается к 28 суткам нормального твердения;
8. Химическая добавка «Реламикс Т-2» увеличивает прочность бетона при сжатии в ранние сроки твердения и не приводит к росту прочности в поздние сроки твердения, а также не повышает сульфатостойкость бетона;
9. В зависимости от требуемого класса бетона по прочности и агрессивного воздействия сульфатной коррозии можно рекомендовать все исследованные составы бетона.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 9 с.
2. ГОСТ 10180-2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 36 с.
3. ГОСТ 10181-2012 Смеси бетонные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 17 с.
4. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 97 с.
5. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная опасность. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 23 с.
6. ГОСТ 12.1.030-81-2001. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 7 с.
7. ГОСТ 12.1.038-81-2001 ССБТ. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.
8. ГОСТ 12.3002-75-90. ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 57 с.
9. ГОСТ 12730.1-78 Бетоны. Методы определения плотности. – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 4 с.
10. ГОСТ 17624-2010 Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 24 с.
11. ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 16 с.
12. ГОСТ 18353-79 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 12 с.
13. ГОСТ 22690-88 Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 24 с.
14. ГОСТ 24211-2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 26 с.

15. ГОСТ 26633-2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 18 с.
16. ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 17 с.
17. ГОСТ 30459-96. Добавки для бетонов. Методы определения эффективности. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 14 с.
18. ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 62 с.
19. ГОСТ 310.2-76 Цементы. Методы определения тонкости помола. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 3 с.
20. ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 78 с.
21. ГОСТ 31108-2003 Цементы общестроительные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 26 с.
22. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 20 с.
23. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 17 с.
24. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 109 с.
25. ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
26. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному и искусственному освещению жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав РФ, 2003. – 15 с.
27. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – М.: Минздрав России, 1997. – 24 с.

28. СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. – М.: Госстрой России, 2001. – 28 с.
29. СНиП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование (с изм. № 1, 2, 3). – М: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 36 с.
30. СНиП 2.20.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии. Госстрой СССР, Москва, 1986. – 66 с.
31. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции, основные положения– М: МинрегионРоссии, 2012. – 148 с.
32. Decey, J. R. Colstowns Symposium. / J. R. Decey. – Bristol, 1958. – 235 p.
33. Flood, T. F. The solid-gas interface / T. F. Flood. – М.: Dekker, 1967. – 176 p.
34. Massazza, F., Chemistry of Pozzolanic Additions and Mixed Cements, Proc. / F. Massazza. – Sixth International Congress on the Chemistry of Cement, Moscow, 1974. – 216 p.
35. Mehta, P. K. Pozzolanic and Cementitious Byproducts as Mineral Admixtures for Concrete – A Critical Review. / P.K. Mehta. – Proc. International Conference on the Use of Fly Ash, Slags and Silica Fume in Concrete. – Montebello, Canada ACI/SP-79, 1983. – 328 p.
36. Mehta, P. K., Studies of Blended Cements Containing Santorin Earth / P.K. Mehta. – Cement and Concrete Research, 1981, V.11, №4:– pp. 507–518.
37. Merlin, A. E. Growth of sheets in 3D confinements – a model for the C–S–H mesostructure / A.E. Merlin, J.McDonald Peter, F. Routh. Alexander. – Cement and Concrete Research. 2014, V. 63. – pp. 137–142.
38. Papatzani, SA comprehensive review of the models on the nanostructure of calcium silicate hydrates. / S. Papatzani, K. Paine, J. Calabria-Holley A Construction and BuildingMaterials. 2015. V. 74. – pp. 219–234.
39. Pengkun, Hou Effects of the pozzolanic reactivity of nano SiO<sub>2</sub> on cement-based materials./ Hou Pengkun, Qian Jueshi, Cheng Xin, P. Shah. Surendra Cement & Concrete Composites. 2015. V. 55. – pp. 250–258.

40. Quercia, G. Characterization of morphology and texture of several amorphous nano-silica particles used in concrete. / G. Quercia, A. Lazaro, J.W. Geus, H.J.H. Brouwers. // Cement and Concrete Composites. 2013. V. 44. – pp. 77–92.
41. Sercale, R., Structure and Characteristics of Pozzolans and Fly Ashes/ R.Sercalle. – Proc. Seventh International Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 1980. – 275 p.
42. Singh, L.P. Studies on early stage hydration of tricalcium silicate incorporating silica nanoparticles./ L.P. Singh, S.K. Bhattacharyya, S.P. Shah, G. Mishra, S. Ahalawat. – Construction and Building Materials. 2015, V. 74. –pp. 278–286.
43. Singh L.P., Karade S.R., Bhattacharyya S.K., Yousuf M.M., Ahalawat S. Beneficial role of nanosilica in cement based materials / L.P. Singh, S.R. Karade, S.K. Bhattacharyya, M.M. Yousuf, S. Ahalawat // Construction and Building Materials. 2015, V. 47. – pp. 1069–1077.
44. Артамонов, В. С. Защита от коррозии транспортных сооружений / В. С. Артамонов, Г. М. Молгина. – М.: Транспорт, 1976. – 269 с.
45. Бабков, В.В. Структурообразование и разрушение цементных бетонов/ В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов, П.Г. Комохов. – ГУП Уфимский полиграфкомбинат, 2002. – 170 с.
46. Баженов, Ю.М. Бетонополимеры / Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с.
47. Баженов, Ю.М. Технология бетонов XXI века / Ю.М. Баженов. – Новые научные направления строительного материаловедения: материалы докладов академических чтений РААСН. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – 507 с.
48. Балалаев, Г. А., Медведев В. М., Мощанский Н. А. Защита строительных конструкций от коррозии / Г. А. Балалаев, В. М. Медведев, Н. А. Мощанский. – М.: Стройиздат, 1966. – 411 с.
49. Баррер, Р. М. Диффузия в твердых телах / Р. М. Баррер. – М., 1958 – 390 с.

50. Батраков, В.Г. Применение суперпластификаторов в бетоне. /В.Г. Батраков, Ф.М. Иванов, Е.С. Силина и др. – Обзорная информация ВНИИ-ИС. –1982. – Вып.2. – №7. – 59 с.
51. Вавржин, Ф. Химические добавки в строительстве / Ф. Вавржин, Р. Крчма. – М.: Стройиздат. – 1964. – 259 с.
52. Волгушев А.Н., Патуроев В.В. Применение серы для пропитки поровой структуры строительных материалов// Бетон и железобетон. – 1976. –№11. – С. 38-39.
53. Гамалий, Е.А. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбонатного пластификатора / Е.А. Гамалий, Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2009. – Вып.10. – № 5. – С. 29– 35.
54. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы: структура и свойства: Справочное пособие / В.С.Горшков, В.Г. Савельев, А.В. Абакумов. – М.: Стройиздат, 1994. – 584 с.
55. Гуревич, Э. А. Химическая стойкость строительных материалов. Учебное пособие / Э. А. Гуревич. – Саратов: СПИ, 1980. – 52 с.
56. Джабаров В.М. Разработка технологии и изучение свойств бетонополимеров для применения в условиях сухого и жаркого климата: автореферат дис. ... д-ра техн. наук – М., 1979. – 21 с.
57. Елохина, С.Н. Геоэкологические последствия эксплуатации золоотвалов в открытых гидрогеологических структурах (на примере золоотвалов Рефтинской ГРЭС) / С.Н. Елохина, Л.Д. Футорянский // Экологические проблемы промышленных регионов. – Екатеринбург, 2004. – С. 65-66.
58. Зедгинидзе, И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И.Г. Зедгинидзе. – М.: Наука, 1970. –390 с.
59. Изотов, В.С. Химические добавки для модификации бетона: монография /В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 244 с.

60. Каприелов, С.С. Влияние состава органоминеральных модификаторов бетона серии «МБ» на их эффективность. /С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон, – 2001. – №5. – 11-15 с.
61. Лейбнзон, Л. С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. – М.: ОГИЗ Гос. изд. тех.-теор. литературы, 1937. – 242 с.
62. Манзий, В.В. Разработка технологии и изучение свойств бетонных изделий, пропитанных расплавом серы: автореферат дис. ... д-ра техн. наук – М.: Изд-во МГСУ, 1982. – 22 с.
63. Марчукайтис, Г.В. К вопросу расчета объемного напряженного состояния бетонополимера во время полимеризации// Железобетонные конструкции. – Вильнюс: Т. Вильнюсского ИС, 1979. – Вып.9. – №4. – С 69-75.
64. Москвин, В. М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузеев Е. А. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
65. Невилль, А. М. Свойства бетона / А. М. Невилль, пер. с англ. В. Д. Парфенова, Т. Ю. Якуб. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 344 с.
66. Никонов, М.Р., Патуроев В.В. Бетонополимеры и характерные особенности их структуры// Бетон и железобетон. 1974. – Вып. 4. – №8. –С. 21–24.
67. Орловский, Ю.И. Свойства пропитанных серой бетонов/ Ю.И. Орловский // Бетон и железобетон. – 1979. – Вып.9. – №2. – С. 9–10.
68. Патуроев, В.В. Разработка режимов технологии пропитки железобетона в расплаве серы / В.В. Патуроев, Волгушев А.Н. // Строительство и архитектура Узбекистана. –1978. – №11. – С. 42-44.
69. Патуроев В.В. Основные виды полимербетонов и перспективы их развития/ В.В. Патуроев // Бетон и железобетон. – 1984. – №8. – С. 4–5.
70. Патуроев, В.В. Технология пропитки бетонных изделий расплавом серы/ В.В. Патуроев, Ю.И. Орловский, В.П. Манзий //Бетон и железобетон. –1983. – №7 – С. 28-29.

71. Патуроев, В.В., Серых Р.Л. Влияние армирования на напряженно-деформированное состояние бетонополимера/ В.В. Патуроев, Р.Л. Серых. // Бетон и железобетон. – 1980. – №5 – С. 25-26.
72. Патуроев, В.В. Полимербетоны/ В.В. Патуроев. – М.: Стройиздат, 1987. – 286 с.
73. Политаева, А.И. Роль микрокремнезема в структурообразовании цементной матрицы и формировании высолов в вибропрессованных изделиях/ А.И. Политаева, Г.И. Яковлев, Г. Иржи // Строительные материалы. – 2015. – №2. – С. 49–55.
74. Рамачандран, В.С. Добавки в бетон: Справочное пособие/ В.С. Рамачандран. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.
75. Шейкин, А.Е. Строительные материалы. / А.Е. Шейкин. – М.: Стройиздат, –1984. – 281 с.
76. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 344 с.
77. Яковлев, Г.И. Наноструктурирование композитов в строительном материаловедении / Г.И. Яковлев. – Ижевск: ИЖГТУ, 2014 –196 с.
78. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий. – М.: Стройиздат, 1989. – 39 с.
79. Водонепроницаемость бетона – <http://tehno-beton.ru/beton/vidy/vodonepronicaemost.html/>.
80. Аэросил. Пирогенный диоксид кремния. – <http://www.silica.su/ru/perechen-produkczii/834-aerosil.html/>.
81. МКУ-85. – <http://glavchem.com/mikrokremnezyom-mk---85.html/>.
82. Прочность бетона. – [http://www.baurum.ru/\\_library/?cat=concreteproperties&id=250/](http://www.baurum.ru/_library/?cat=concreteproperties&id=250/).
83. Минеральные добавки. – [http://www.baurum.ru/\\_library/?cat=mineraladditives&id=311/](http://www.baurum.ru/_library/?cat=mineraladditives&id=311/).
84. Новый подход к природе прочности бетона. – <http://vasilij-nikishkin.narod.ru/>.

85. Прочность бетона. Теории прочности и механизм разрушения.  
– <http://m350.ru/articles/more/v/id/98/>.