



## АННОТАЦИЯ

Шипулин И.П. «Повышение  
сульфатостойкости бетона с  
использованием модификатора типа  
МБ»

- Челябинск, ЮУрГУ, СМиИ, 2020,  
90 с., 26 ил., 18 табл.,

библиографический список – 69  
наименования.

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 влияния комплексных добавок в мелкозернистый бетон в условиях морозной и сульфатной агрессии, представлены основные аспекты безопасности труда и жизнедеятельности.

					<b>08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ</b>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Повышение сульфатостойкости бетона с использованием модификатора типа МБ	Литера	Лист	Листов
Разработал		Шипулин И.П.					5	90
Проверил						ЮУрГУ (НИУ) Кафедра СМиИ		
Нормоконтр.		Черных Т.Н.						
Зав.кафедрой		Орлов А.А.						

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	8
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	10
1.1 Понятие стойкости бетона в условиях агрессии.....	10
1.2 Влияние структуры мелкозернистого бетона на его стойкость к сульфатной и морозной агрессии .....	14
1.2.1 Виды защиты мелкозернистого бетона .....	14
1.2.2 Влияние структуры бетона на его сопротивляемость агрессии.....	18
1.3 МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ К СУЛЬФАТНОЙ И МОРОЗНОЙ АГРЕССИИ .....	21
ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ .....	23
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	24
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	25
2.1 Методы исследования .....	25
2.1.1 Свойства сырьевых материалов.....	25
2.1.2 Свойства формовочной массы .....	26
2.1.3 Прочность цементного камня и бетона .....	26
2.1.4 Морозостойкость бетона.....	27
2.1.5 Стойкость бетона к сульфатной агрессии .....	28
2.2 Характеристика сырьевых материалов .....	30
2.2.1 Цемент.....	30
2.2.2 Заполнитель .....	31
2.2.3 Минеральный заполнитель .....	31
2.2.4 Добавки пластифицирующего действия .....	33
2.2.5 Воздухововлекающая добавка.....	35
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ .....	37
3.1 Исследование влияния добавок пластифицирующего действия на свойства цементного теста .....	38
3.2 Исследование влияния воздухововлекающей добавки на свойства цемента	44

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

3.3 Исследование влияние комплексных добавок на твердение и прочность мелкозернистого бетона.....	45
3.4 Испытание мелкозернистого бетона с комплексными добавками на морозостойкость.....	48
3.5 Испытание мелкозернистого бетона с комплексными добавками на сульфатостойкость .....	56
ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ.....	65
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	66
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	68
5.1 Нормативные значения факторов рабочей среды.....	70
5.1.1 Микроклимат рабочей зоны.....	71
5.1.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны .....	71
5.1.3 Освещение рабочей зоны .....	73
5.1.4 Добавки пластифицирующего действия .....	74
5.2 Безопасность производственных процессов и оборудования.....	76
5.3 Электробезопасность.....	76
5.4 Пожаробезопасность .....	76
6 ЭКОЛОГИЯ.....	78
ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ .....	82
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	83

## 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 нет.

По виду вяжущего бетон классифицируют:

- бетоны на системах с органическими вяжущими, к которым относятся асфальтобетоны, пластбетоны;
- бетоны на системах с неорганическими вяжущими, к которым относятся специальные, кислотоупорные, силикатные, цементные, жаростойкие и гипсобетоны.

Бетон один из самых первых строительных материалов, появившийся в прошлом веке. Свидетельство этому, здания и сооружения, оставшиеся нам из истории строительства сооружений и зданий из бетона. По началу, бетон применялся, как самостоятельный материал, возводили из него монолитные конструкции, но, к сожалению, такие конструкции долго не существовали.

Поэтому учёные всех стран обдумывали вопрос долговечности конструкций из бетона и повышения его эксплуатационных характеристик, так в ходе разработок, испытаний и исследований был создан новый более действенный, долговечный, и крепкий строительный материал, получивший название железобетон, так как в растянутой части тела бетона стали использовать арматурные каркасы и стержни.

С продолжением изучения железобетонных конструкций, содержащих в своем теле сетки и каркасы, быстрыми темпами стало продолжаться строительство совершенно разных зданий, сооружений, массивных конструкций при минимальных трудозатратах и быстрых сроках возведения. Развитие

					<i>08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

науки в области железобетона дало возможность применения предварительно-напрягаемых конструкций, что давало следующие преимущества:

- сокращение числа требуемой арматуры в ЖБК (железобетонных конструкциях);
- увеличение срока эксплуатации конструкций и трещиностойкости.

Последние десятилетия ознаменованы повышенным интересом к мелкозернистым бетонам, в которых наибольшая крупность частиц заполнителя не превышает 10 мм. Существенным поводом для повышенного внимания к этой разновидности бетона явился возрастающий дефицит качественного крупного заполнителя. Для получения бетона без крупного заполнителя широко применяют техногенные зернистые материалы, что способствует снижению стоимости бетонных изделий. Мелкозернистые бетоны характеризуются высокой технологичностью приготовления и уплотнения формовочных масс; чувствительностью к дополнительным компонентам; однородностью структуры и возможностью ее регулирования; широкой номенклатурой изделий. Мелкозернистые бетоны являются предпочтительными при изготовлении тонкостенных железобетонных конструкций, в производстве дорожных и гидротехнических изделий, при строительстве транспортных тоннелей, высотных зданий, большепролетных мостов. Широкому распространению мелкозернистых бетонов препятствует повышенный расход цемента. Для приготовления 1 м<sup>3</sup> мелкозернистого бетона расход цемента на 40 - 50% больше, чем для бетона с крупным заполнителем.

В современной технологии бетона получили распространение новые эффективные вяжущие, модификаторы, активные минеральные добавки, армирующие волокна; активно развиваются эффективные технологические приемы приготовления и уплотнения бетонной смеси. Перспективным направлением развития технологии мелкозернистых бетонов на ближайшие десятилетия является дальнейшее повышение физико-технических показателей за счет введения модифицированных добавок. Модификация состава мелкозернистой бетонной смеси расширяет возможности управления структурооб-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

разованием материала на всех этапах производства бетона, способствует уменьшению в структуре бетона цементного камня – наиболее уязвимой составляющей бетона. Мелкозернистые бетоны, содержащие модификаторы структуры, характеризуются более плотным строением и обладают большей прочностью, чем бетоны крупнозернистого строения. Это обеспечивает повышение качества, эксплуатационной надежности и долговечности бетонов. Предметом данного исследования являются мелкозернистые бетоны, модифицированные комплексными добавками для повышения стойкости материалов к воздействию морозного разрушения и сульфатной агрессии.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Понятие стойкости бетона, в условиях сульфатной и морозной агрессии

Бетон на неорганических вяжущих веществах представляет собой композиционный материал, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной бетонной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды, заполнителей и специальных добавок. Состав бетонной смеси должен обеспечить бетону к определенному сроку заданные свойства (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и др.).

Бетон является главным строительным материалом, который применяют во всех областях строительства. Технико-экономические преимуществами бетона и железобетона являются: низкий уровень затрат на изготовление конструкций в связи с применением местного сырья, возможность применения в сборных и монолитных конструкциях различного вида и назначения, механизация и автоматизации приготовления бетона и производства конструкций. Бетонная смесь при надлежащей обработке позволяет изготавливать конструкции оптимальной формы с точки зрения строительной механики и архитектуры. Бетон долговечен и огнестоек, его плотность, прочное и другие характеристики можно изменять в широких пределах и получать материал с заданными свойствами. Недостатком бетона, как любого каменного материала, является низкая прочность на растяжение, которая в 10–15 раз ниже прочности на сжатие. Этот недостаток устраняется в железобетоне, когда растягивающие напряжения воспринимает арматура. Близость коэффициентов температурного расширения и прочное сцепление обеспечивают совместную работу бетона и стальной арматуры в железобетоне, как единого целого. Это основное свойство железобетона как композиционного материала. В силу этих преимуществ бетоны различных видов и железобетонные конструкции из них являются основой современного строительства.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

Долговечность бетона и железобетона зависит от большого числа факторов, основными из которых являются условия эксплуатации, вид и состав бетона, а также степень агрессивности грунтовых вод, воздействию которых подвергаются конструкции сооружений. Как известно [1], основной причиной разрушения бетонных массивов в зоне контакта с грунтовыми водами является коррозия цементной матрицы бетона. Причина этого состоит в образовании гидросульфоалюмината кальция, взаимодействии извести с магnezияльными солями, а также в прямом выщелачивании извести из бетона. Наибольшее разрушающее действие на бетон независимо от состава и структуры бетона, вида конструкций, характера и величины рабочих нагрузок, условий службы оказывает сульфатная коррозия. По существующим в настоящее время представлениям, из числа солей, входящих в состав агрессивных сред, наиболее опасными для цементного камня являются сульфаты различной природы и концентрации. Разрушение цементной матрицы бетона в сульфатных средах сопровождается образованием кристаллов двуводного гипса и трехсульфатной формы гидросульфоалюмината кальция. Кристаллизация гипса и гидросульфоалюмината кальция вызывает разрушение цементной матрицы за счет значительного увеличения объема твердой фазы. По мнению Ф. М. Ли [2], уже одно это обстоятельство является достаточным для объяснения разрушения цементного камня.

Образование и разрушение гидросульфоалюмината кальция является важным химическим процессом. Изучение минералогического состава образцов цементного камня, хранившихся в сульфатной среде, показало, что цементный камень связывает значительное количество ионов  $SO_4^{2-}$  [3]. Чем больше в цементе трехкальциевого алюмината  $3CaO \cdot Al_2O_3$  ( $C_3A$ ), тем больше ионов  $SO_4^{2-}$  связывается, т. е. поглощение носит сульфоалюминатный характер.

Сложность процессов сульфатной коррозии заключается в том, что в сильно минерализованных средах в зависимости от условий происходит об-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

разование или перекристаллизация трехсульфатной формы гидросульфата алюмината кальция, кристаллизация или растворение гипса.

В этой связи разработаны методы повышения долговечности бетона при сульфатной агрессии. Они включают: использование сульфатостойкого цемента, портландцементов с содержанием  $C_3A$  не более 5 % и ряда специальных цементов; повышение содержания гипса в цементе с опережающим связыванием алюминатов в пластичном состоянии; увеличение плотности бетона; введение добавок в бетон; использование карбонатных заполнителей.

Эти методы направлены на предотвращение или замедление диффузии сульфат-ионов в бетон, уменьшение содержания алюминатов кальция или их своевременную реакцию с добавками - компонентами бетона. Сульфатное взаимодействие должно стать составной частью процессов, связанных с формированием структуры цементной матрицы бетона. Следует не столько защищать сооружение от проникновения в бетон сульфатных вод или понижать содержание  $C_3A$  в цементе, сколько получить в бетоне цементный камень, в котором вместо гидратированного алюмината будет находиться гидросульфаталюминат. К аналогичному выводу о положительном влиянии на сульфатостойкость цемента при введении гипса пришли В. В. Михайлов и С. Л. Литвер [4].

Морозостойкость бетона – условная характеристика, оценивающая его способность сохранять прочность и другие физико-механические свойства при отрицательных температурах, особенно при многократном и попеременном замораживании и оттаивании. Процессы, протекающие при замораживании и оттаивании бетона, обуславливают постепенное накопление в нем повреждений. При многократном попеременном охлаждении и последующем нагревании-оттаивании компоненты бетона изменяют объем в соответствии, с присущими им, коэффициентам температурного расширения. Одновременно, если в порах бетона содержится вода, она изменяет объем не только в результате температурного расширения или сжатия, но и при фазовом переходе воды в лёд, когда ее объем увеличивается примерно на 9% (в 1,0907 раза).

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Возникновение перепада температур в объеме бетона неизбежно сопровождается миграцией влаги как в жидком, так и в парообразном состоянии.

Степень повреждения бетона при замораживании зависит от степени его водонасыщения. Однако это сложная зависимость, так как определяется не только объемом пор, насыщаемых водой, но и их размером, формой, проницаемостью поровой структуры для воды и воздуха. От того, какой была степень водонасыщения бетона в период первого замораживания и с какой скоростью она увеличивается при повторных циклах замораживания или оттаивания зависит большая или меньшая морозостойкость бетона.

Морозостойкость бетона измеряется числом циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают образцы бетона без существенного изменения прочности.

Например, чем меньше гидроалюмината кальция ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) в клинкере, тем выше морозостойкость бетона. Оказывают влияние на морозостойкость увеличение дозировки гипса и тонкость помола цемента, «лежальность» цемента и применение минеральных добавок (добавка «Аэропласт» повышающая воздухоовлечение в бетонную смесь, и как следствие увеличение морозостойкости).

Целью литературного обзора являются, определение и обзор методов повышения стойкости мелкозернистых бетонов, эксплуатирующихся в условиях сульфатной и морозной агрессии.

## 1.2 Влияние структуры мелкозернистого бетона на его стойкость к сульфатной и морозной агрессии

### 1.2.1 Виды защиты мелкозернистого бетона

Технические решения по защите от коррозии бетонных и железобетонных конструкций, а также элементов их сопряжений должны быть самостоятельной частью проектов зданий и сооружений. В сложных случаях разработку проектов защиты следует выполнять с привлечением профильных ор-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

ганизаций. Проектная документация в части антикоррозионной защиты зданий и сооружений должна отвечать требованиям ГОСТ 21.513.

Для предотвращения коррозионного разрушения бетона, железобетона и конструкций из них могут быть предусмотрены следующие виды защиты:

- первичная;
- вторичная;
- специальная.

К мерам первичной защиты относятся:

- применение бетонов, стойких к воздействию агрессивной среды, что обеспечивается выбором цемента и заполнителей, подбором состава бетона, снижением проницаемости бетона, применением уплотняющих, воздухововлекающих и других добавок, повышающих стойкость бетона в агрессивной среде и защитное действие бетона по отношению к стальной арматуре, стальным закладным деталям и соединительным элементам; герметизацией швов бетонирования гидроактивными профильными жгутами и полимерными шпонками;

- выбор и применение арматуры, соответствующей по коррозионным характеристикам условиям эксплуатации;

- защита от коррозии закладных деталей и связей на стадии изготовления и монтажа сборных железобетонных конструкций, защита предварительно напряженной арматуры в каналах конструкций, изготавливаемых с последующим натяжением арматуры на бетон;

- соблюдение дополнительных расчетных и конструктивных требований при проектировании бетонных и железобетонных конструкций, в том числе обеспечение проектной толщины защитного слоя бетона и ограничение ширины раскрытия трещин и др.

Морозостойкость бетона должна обеспечиваться мерами первичной защиты.

К мерам вторичной защиты относится защита поверхности бетонных и железобетонных конструкций:

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

- 1) лакокрасочными, в том числе толстослойными (мастичными), покрытиями;
- 2) оклеечной изоляцией;
- 3) обмазочными и штукатурными покрытиями;
- 4) облицовкой штучными или блочными изделиями;
- 5) уплотняющей пропиткой поверхностного слоя конструкций химически стойкими материалами;
- 6) обработкой поверхности бетона составами проникающего действия с уплотнением пористой структуры бетона кристаллизующимися новообразованиями;
- 7) обработкой гидрофобизирующими составами;
- 8) обработкой специальными препаратами - биоцидами, антисептиками и т.п.

Вторичную защиту применяют, если защита от коррозии не может быть обеспечена мерами первичной защиты. Вторичная защита, как правило, требует периодического возобновления.

Гидроизоляция бетонных и железобетонных конструкций и герметизация (стыков, зазоров, швов и т.п.) как защита от коррозии осуществляется в соответствии с нормативными документами по гидроизоляции.

К мерам специальной защиты относятся различные физические и физико-химические методы, мероприятия, понижающие агрессивное воздействие среды (мероприятия, исключаяющие конденсацию влаги и понижающие концентрацию агрессивных веществ, организация стоков, дренаж, электрохимическая защита), вынос производств с выделениями агрессивных веществ в изолированные помещения и др.

#### Цементы

В качестве вяжущих для приготовления бетонов в зависимости от агрессивного воздействия среды следует применять цементы:

- портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлако-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

портландцемент по ГОСТ 10178, ГОСТ 30515, ГОСТ 31108;

- сульфатостойкие цементы по ГОСТ 22266, а также глиноземистые цементы по ГОСТ 969.

Для увеличения морозостойкости бетона допускается применение цементов (вяжущих) низкой водопотребности (ЦНВ, ВНВ), цементов с полифункциональными добавками, напрягающих и безусадочных цементов и других вяжущих, приготовленных на основе указанных выше цементов.

В грунтах и жидких средах, содержащих сульфаты, следует применять сульфатостойкие цементы, шлакопортландцементы и портландцементы, в том числе портландцементы нормированного минералогического состава, а также портландцементы с добавками, повышающими сульфатостойкость бетона.

#### Заполнители

В качестве мелкого заполнителя следует использовать кварцевый песок класса I по ГОСТ 8736 (отмучиваемых частиц не более 1% по массе), а также пористый песок по ГОСТ 32496.

В качестве крупного заполнителя для бетона следует использовать фракционированный щебень из изверженных пород, гравий и щебень из гравия марки по дробимости не ниже 800 по ГОСТ 8267. Для конструкционных легких бетонов следует применять пористые заполнители по ГОСТ 32496. Щебень из карбонатных пород, если они однородны и не содержат слабых прослоек, с маркой по дробимости не ниже 600 и водопоглощением не выше 2%, допускается применять для изготовления конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, имеющих водородный показатель не ниже pH=5. Заполнители, содержащие доломит и доломитизированный известняк, допускается применять лишь в случае, если опытным путем доказано отсутствие повреждения бетона от расширения (реакции взаимодействия карбоната магния со щелочами цемента и добавок).

Мелкий и крупный заполнители должны быть проверены на содержание хлоридов по ГОСТ 8269.1 и потенциально реакционно-способных со ще-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

лочами пород и минералов по ГОСТ 8269.0. Щебень и песок не должны содержать более 0,10% хлоридов, песок - более 0,15%..

#### Добавки

Для повышения стойкости бетона железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах, следует использовать добавки по ГОСТ 24211 и нормативным документам, действующим на территории России.

В бетоне конструкций, эксплуатирующихся в условиях капиллярного подсоса, следует использовать гидрофобизирующие добавки, в том числе в сочетании с пластифицирующими и водоредуцирующими добавками.

Для повышения стойкости бетона в агрессивных сульфатных средах и снижения проницаемости бетона для хлоридов в хлоридных средах следует использовать минеральные добавки в сочетании с пластифицирующими и водоредуцирующими добавками.

Для повышения морозостойкости бетона следует использовать воздухововлекающие и газообразующие добавки в сочетании с пластифицирующими и водоредуцирующими добавками.

При воздействии диоксида углерода (карбонизация), а также хлоридов следует использовать пластифицирующие и водоредуцирующие добавки.

При воздействии биологических коррозионно-активных сред следует применять добавки - биоциды, в том числе в сочетании с пластифицирующими и водоредуцирующими добавками.

Общее количество химических добавок при их применении для приготовления бетона не должно составлять более 5% массы цемента, если отсутствует надежное подтверждение обеспечения долговечности бетона при повышенных дозировках добавок.

Добавки, применяемые при изготовлении железобетонных изделий и конструкций, не должны оказывать коррозионного воздействия на бетон и арматуру.

#### Вода

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Вода, для затворения бетонной смеси и увлажнения твердеющего бетона, должна отвечать требованиям ГОСТ 23732.

### 1.2.2 Влияние структуры бетона на его сопротивляемость сульфатной и морозной агрессии

Долговечность цементных бетонов является важнейшей эксплуатационной характеристикой, определяющей не только техническую, но и экономическую эффективность применения бетонных изделий и железобетонных конструкций в различных отраслях народного хозяйства.

Поэтому важнейшей задачей является использование резервов повышения коррозионной стойкости строительных материалов и изделий. Использование смешанных вяжущих, полученных на основе алюмосиликатов природного (цеолитсодержащие породы- ЦСП) и техногенного происхождения (золы гидроудаления), открывает новые возможности в этой области. Наряду с воздействием агрессивных сред, бетон конструкций в зданиях и сооружениях может подвергаться воздействию и других эксплуатационных факторов, например, попеременному увлажнению и высушиванию, замораживанию и оттаиванию. Кроме того, при использовании бетонов, в том числе и на смешанных вяжущих могут применяться различные химические добавки, оказывающие влияние на формирование микро- и макроструктуры цементного камня, и соответственно, на долговечность бетона. Поэтому, для получения гарантированной долговечности бетонов на смешанных вяжущих, необходимо проведение комплекса исследований поведения таких бетонов при воздействии на них перечисленных выше эксплуатационных факторов.

Особенностью структуры бетона на портландцементе является ее высокая неоднородность, определяющаяся тремя факторами: пористостью цементного камня, значительным различием составляющих бетона по упругим и прочностным характеристикам, наконец, дефектностью структуры бетона на всех ее уровнях. В зависимости от размеров, в цементном камне выделяют

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

три группы пор: поры геля, капиллярные поры и макропоры. Поры геля имеют средний размер  $15-30 \cdot 10^{-4}$  мкм и составляют, по Пауэрсу, около 28% от его объема. Капиллярная составляющая пор характеризуется спектром пор от сотых долей до несколько микрон и изменяется в пределах от 10 до 40 % и более. Меньшее значение пористости соответствует цементному камню нормального твердения в возрасте 28 суток при В/Ц около 0,2, большее значение - при В/Ц около 0,8. В этом интервале В/Ц прочность цементного камня изменяется в пределах одного порядка: на сжатие приблизительно от 100 до 15 МПа. Макропоры в цементном камне - это поры с размерами до  $10^{-4}$  мкм. Несмотря на незначительное содержание их в цементном камне и бетоне (всего несколько %), они отрицательно влияют на прочность бетона. Отмеченные выше особенности микроструктуры бетона оказывают существенное влияние на все его свойства, в частности усадку, сульфатостойкость, стойкость к щелочной коррозии заполнителя и морозостойкости.

Вывод по влиянию структуры бетона на сульфатную агрессию:

1. Выполненные исследования показали, что сопротивляемость бетона физическим и химическим агрессивным воздействиям зависит от состава, вяжущего и особенностей микроструктуры цементного камня.

2. Бетоны на смешанном вяжущем оптимального состава отличаются повышенной морозостойкостью, сульфато- и щелочестойкостью и пониженной усадкой, что обуславливается пониженной интегральной пористостью, а также значительным снижением концентрации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в цементном камне, вследствие его химического связывания компонентами активных минеральных добавок.

### 1.3 Методы увеличения стойкости бетона к сульфатной и морозной агрессии

Бетон – основной материал современного строительства. Высокая востребованность и эффективность применения бетона обусловлены следующими преимуществами этого композиционного материала: доступная и практи-

					<i>08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

чески неисчерпаемая сырьевая база, которая пополняется техногенными источниками; возможность регулирования состава и структуры бетона; технологическая совместимость бетона с целым рядом конструкционных и отделочных материалов; высокая прочность и долговечность, гарантирующие надежность использования бетона в различных эксплуатационных условиях жилищного, промышленного, транспортного, гидротехнического, энергетического и других видах строительства; сравнительная простота и невысокая энергоемкость технологии производства бетонных изделий.

Последние десятилетия ознаменованы повышенным интересом к мелкозернистым бетонам, в которых наибольшая крупность частиц заполнителя не превышает 10 мм. Существенным поводом для повышенного внимания к этой разновидности бетона явился возрастающий дефицит качественного крупного заполнителя. Для получения бетона без крупного заполнителя широко применяют техногенные зернистые материалы, что способствует снижению стоимости бетонных изделий.

Мелкозернистые бетоны характеризуются высокой технологичностью приготовления и уплотнения формовочных масс; чувствительностью к дополнительным компонентам; однородностью структуры и возможностью ее регулирования; широкой номенклатурой изделий.

Мелкозернистые бетоны являются предпочтительными при изготовлении тонкостенных железобетонных конструкций, в производстве дорожных и гидротехнических изделий, при строительстве транспортных тоннелей, высотных зданий, большепролетных мостов. Широкому распространению мелкозернистых бетонов препятствует повышенный расход цемента. Для приготовления 1 м<sup>3</sup> мелкозернистого бетона расход цемента на 40 – 50% больше, чем для бетона с крупным заполнителем.

В современной технологии бетона получили распространение новые эффективные вяжущие, модификаторы, активные минеральные добавки, армирующие волокна; активно развиваются эффективные технологические приемы приготовления и уплотнения бетонной смеси. Перспективным на-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

правлением развития технологии мелкозернистых бетонов на ближайшие десятилетия является дальнейшее повышение физико-технических показателей за счет введения модифицированных добавок. Модификация состава мелкозернистой бетонной смеси расширяет возможности управления структурообразованием материала на всех этапах производства бетона, способствует уменьшению в структуре бетона цементного камня – наиболее уязвимой составляющей бетона.

Мелкозернистые бетоны, содержащие модификаторы структуры, характеризуются более плотным строением и обладают большей прочностью, чем бетоны крупнозернистого строения. Это обеспечивает повышение качества, эксплуатационной надежности и долговечности бетонов.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

## ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

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

2. На основе литературных данных было обнаружено, что в теле бетона, твердевшего в нормальных условиях, без введения специальных добавок в состав бетона, стойкость изделий к сульфатной и морозной агрессии не достаточна.

3. Установлено, что высокая пористость и как следствие низкая стойкость к сульфатной и морозной агрессии, ограничивают спектр изделий и сооружений в которых можно применять бетоны, в качестве конструкционного материала.

4. Выявлены способы повышения стойкости бетона к сульфатной и морозной агрессии.

5. Выявлено, что введение в состав бетонной смеси минеральных добавок, и наполнителей, является одним из самых эффективным способом улучшения структуры и повышения стойкости к сульфатной и морозной агрессии.

6. Установлено, что использование добавок пластифицирующего действия и воздухововлекающей добавки, повышает стойкость мелкозернистого бетона к морозной и сульфатной агрессии.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы: Разработать комплекс добавок, позволяющий увеличить показатель сульфатной и морозной стойкости мелкозернистых бетонов.

Задачи:

1. выявить лучшие дозировки активных, кремний содержащих добавок для бетона;
2. разработать комплексы добавок, увеличивающие водонепроницаемость бетона;
3. определить свойства бетонов, полученных на данных комплексных добавках;
4. выбрать наиболее эффективный из полученных комплекс добавок;
5. сравнить свойства и себестоимость бетонов традиционных составов, с бетоном полученном на предложенных модификаторах.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

## 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 2.1 Методы исследования

Основные физико-механические характеристики исходных материалов, свойства мелкозернистых формовочных масс и полученных затвердевших бетонов определяли в соответствии с действующими стандартами. При проведении экспериментов использованы также общепринятые в исследовательской практике методики.

#### 2.1.1 Свойства сырьевых материалов

Для проведения исследований сырьевыми материалами послужили цемент, мелкий заполнитель, минеральный наполнитель и химические добавки. Для оценки физико-механических свойств цемента использованы методики, изложенные в ГОСТ 30744 - 2001. Цементы. Методы испытаний. Фракционный состав заполнителя определен путем отсева на стандартном наборе сит с размером ячеек от 0,16 до 5 мм. Активизация минерального наполнителя осуществлена в высокоскоростной шаровой мельнице Emax (рисунок 2.1). Для определения удельной поверхности цемента и минерального наполнителя использован фотометрический седиментометр ФСХ-6К (рисунок 2.2).

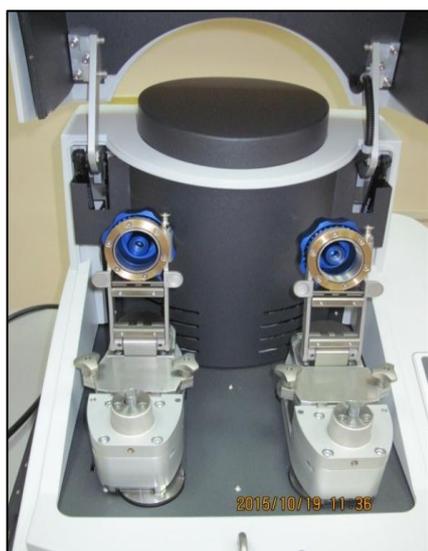


Рисунок 2.1 – Высокоскоростная шаровая мельница Emax

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

Плотность водных растворов химических добавок определена с помощью ареометров.

### 2.1.2 Свойства формовочной массы

На различных этапах экспериментов использованы формовочные массы, представляющие собой цементные суспензии различной консистенции и мелкозернистые бетонные смеси.



Рисунок 2.2 – Фотометрический седиментометр ФСХ – 6К

Для определения состояния цементных суспензий использованы: прибор Вика с пестиком, вискозиметр Суттарда. Выбор прибора определен консистенцией цементного теста. Подвижность мелкозернистых бетонных смесей определена с помощью формы-конуса в комплекте со встряхивающим столиком.

### 2.1.3 Прочность цементного камня и бетона

Для исследования влияния добавок на прочностные показатели цемента использованы образцы цементного камня размером 20x20x20 мм, изготовленные из теста нормальной густоты. После твердения в воздушно-влажной среде (камера с гидравлическим затвором) в течение 24 ч образцы твердели в воде для заданного срока испытаний. Прочностные показатели мелкозернистого бетона определены на образцах размером 70x70x70 мм, твердевших во

влажной среде (рисунок 2.3). Испытания образцов на прочность проведены на гидравлическом малогабаритном прессе ПГМ –500МГ4А (рисунок 2.4).



Рисунок 2.3 – Формы для бетона

Рисунок 2.4 – Гидравлический пресс ПГМ –500МГ4А

При испытании мелкозернистых бетонов на морозостойкость и стойкость к сульфатной агрессии использованы образцы размером 40х40х40 мм. Малый размер бетонных образцов принят с учетом применения мелкофракционного заполнителя и позволил одновременно проводить испытания многочисленных составов бетона.

#### 2.1.4 Морозостойкость бетона

Методика испытаний на морозостойкость принята с учетом положений ГОСТ 10060 - 2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости (с Поправками). Учитывая нацеленность экспериментов на определение влияния добавок на стойкость бетона к морозному разрушению, использован метод сравнения образцов различного состава, которые изготовлены и исследованы в идентичных условиях. Использование образцов размером 40х40х40 мм позволило рационально использовать объем морозильной установки. Для оценки морозостойкости бетонов принят принцип второго базового метода, рекомендуемого для бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкций, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды. Метод

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

предусматривал насыщение образцов в возрасте 28 сут твердения 5%-ным водным раствором хлорида натрия. Насыщение образцов проведено поэтапно путем погружения в раствор хлорида натрия. На первом этапе образцы погружены на 1/3 высоты на 24 ч. Затем уровень раствора повышен до 2/3 высоты образцов, образцы выдержаны еще 24 ч. После чего образцы полностью погружены в раствор на 48 ч, при этом уровень раствора был выше верхней грани образцов на 20 мм. На каждый срок испытаний формовали по 9 образцов. Три образца служили контрольными и пребывали в растворе хлорида натрия. Другие шесть образцов – основных подвергали попеременному замораживанию и оттаиванию. Замораживание произведено в воздушной среде морозильной камеры при температуре минус  $(18\pm 2)$  °С. Продолжительность пребывания образцов при указанной температуре 2,5 ч. Затем извлеченные образцы погружали в 5%-ный раствор хлорида натрия с температурой  $(20\pm 2)$ °С на 2 ч. Таким образом, цикл испытаний составлял 4,5 ч. Количество циклов в сутки – 4. По завершению каждого цикла произведен осмотр образцов для выявления признаков разрушения (трещины, сколы, шелушение). Водный раствор хлорида натрия в ванне для оттаивания меняли через каждые 100 циклов. Через каждые 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания основные и контрольные образцы испытывали на прочность. Относительную прочность бетона определяли как соотношение показателей прочности основных образцов к прочности контрольных образцов и выражали в процентах.

#### 2.1.5 Стойкость бетона к сульфатной агрессии

Методика испытаний на стойкость бетона к сульфатной агрессии принята с учетом положений ГОСТ Р 56687 - 2015. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Метод определения сульфатостойкости бетона. Для испытаний формовали образцы двух типоразмеров: кубы размером 40х40х40 мм – для испытания на прочность; призмы размером 15х15х60 мм – для определения деформаций набухания, в торцы призм устанавливали

					<i>08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

реперы. Образцы мелкозернистого бетона в возрасте 28 сут после твердения в воде подвергали испытанию на стойкость к сульфатной агрессии. Тщательно вытертые и высушенные образцы-призмы взвешивали, измеряли с помощью штангенциркуля и индикатора часового типа (рисунок 2.5). Шесть образцов каждого состава погружали в агрессивные среды: в 5%-ный раствор сульфата натрия и в 3%-ный раствор сульфата магния. Другие шесть образцов помещали в дистиллированную воду. Аналогичные условия и для образцов кубовидной формы. Учитывая, что в условиях эксплуатации велика вероятность попеременного насыщения агрессивными средами и высушивания бетона, методикой испытаний предусмотрено высушивание образцов в течение 8 ч при температуре 105 – 110°C после 24 ч пребывания в агрессивных растворах.

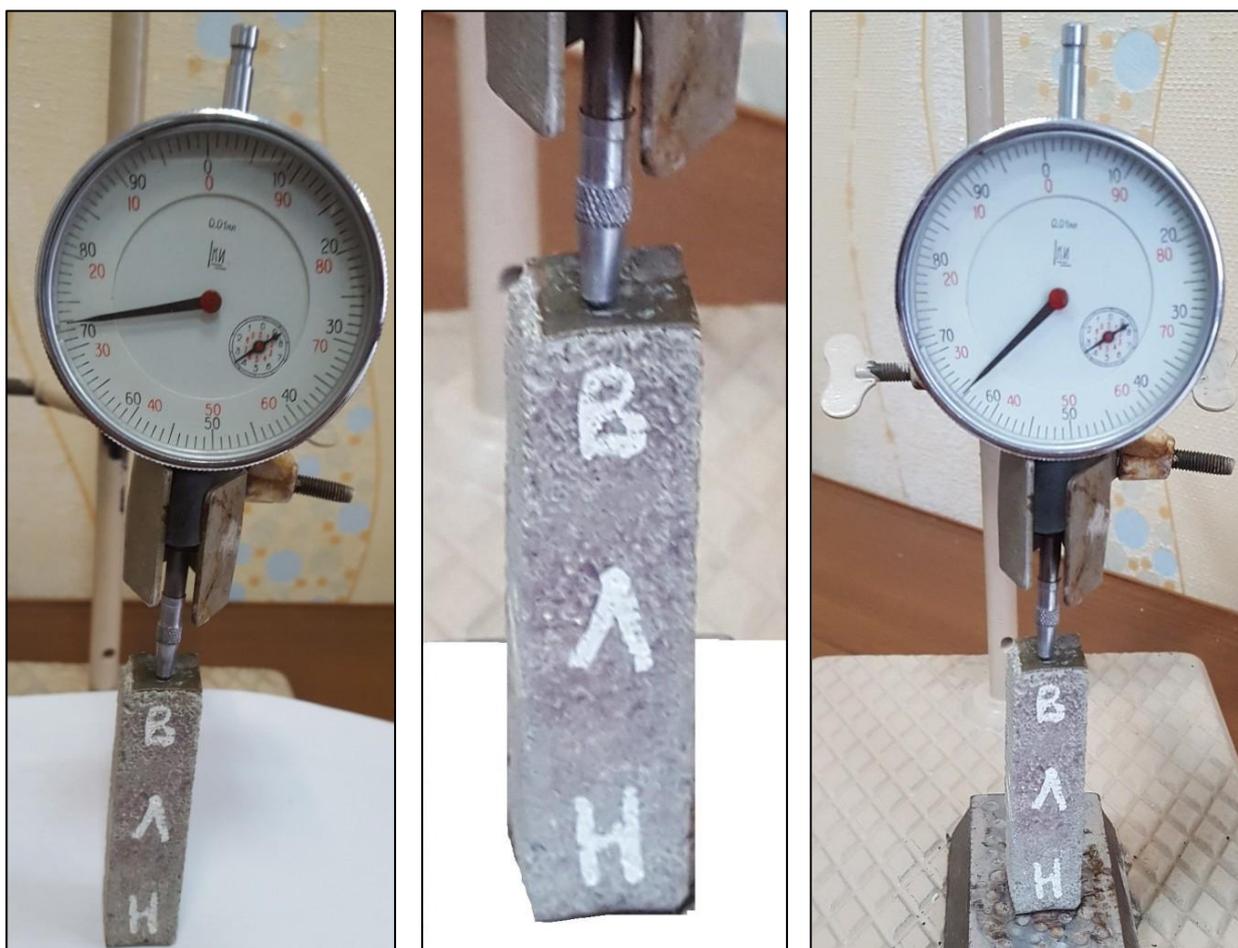


Рисунок 2.5 – Определение деформаций набухания образцов

Измерение деформаций выполняли через каждые 30 сут на протяжении 180 сут. По истечении каждых 30 сут проведены испытания образцов кубовидной формы на прочность. По результатам испытаний рассчитывали коэффициент сульфатостойкости, как отношение прочности основных образцов, подвергаемых испытаниям к прочности контрольных образцов.

## 2.2 Характеристика сырьевых материалов

### 2.2.1 Цемент

Вяжущее вещество – основной компонент бетонных смесей, выбор которого зависит от условий эксплуатации бетона. Для получения мелкозернистого бетона, стойкого к воздействию сульфатной агрессии и морозного разрушения использован портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н производства Рудненского цементного завода. Основные характеристики портландцемента, определенные в соответствии с действующими стандартами, приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1 – Состав портландцемента

Вещественный состав, %		Фазовый состав клинкера, %			
клинкер	двуводный гипс	алит	белит	алюминат кальция	алюмоферриты кальция
95	5	65,5	15,5	6,0	13,0

Таблица 2.2 – Свойства портландцемента

Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч – мин		Предел прочности, МПа, в возрасте 28 сут	
		начало	конец	при изгибе	при сжатии
360	25,25	1 – 30	3 – 30	5,2	48

Пониженное содержание алюмината кальция предопределяет стойкость к сульфатной агрессии. Высокое содержание алита, при ограниченном количестве алюмината кальция, отсутствие минеральных добавок способствуют формированию цементного камня, стойкого к морозному разрушению.

### 2.2.2 Заполнитель

Заполнитель – основа структуры бетона. Крупность частиц заполнителя в мелкозернистом бетоне не превышает 10 мм, зачастую максимальный размер зерен заполнителя составляет 2 – 5 мм. Высокая удельная поверхность заполнителя обуславливает повышенную чувствительность бетона к характеристикам зернистого компонента. Минеральный состав, соотношение фракций, форма частиц и состояние их поверхности существенно влияют на расход вяжущего вещества, состояние бетонной смеси и свойства бетона. Настоящая работа посвящена исследованию влияния комплексных добавок на долговечность бетона, которая в значительной степени определяется составом и структурой цементного камня. Для исключения влияния вида заполнителя на результаты исследований в качестве заполнителя мелкозернистого бетона использован Вольский монофракционный песок (ГОСТ 6139 – 2003), охарактеризованный в таблице 2.3. Кварцевый природный песок Вольского месторождения состоит из зерен округлой формы размером 0,5 – 0,9 мм, имеет нормированный зерновой и химический состав, используется для стандартных испытаний цементов. В составе песка минимизировано присутствие вредных примесей, способных оказать влияние на свойства бетонной смеси и бетона. Таблица 2.3 – Состав и свойства заполнителя

Содержание SiO <sub>2</sub> , %	Содержание глинистых или илестых примесей, %	Содержание частиц размером 0,5 – 0,9 мм, %	Содержание частиц размером 0,9 – 1,25 мм, %	Влажность, %
98,75	0,75	91,1	0,7	0,17

Кварцевый природный песок Вольского месторождения характеризуется модулем крупности 2,73; насыпной плотностью 1355 кг/м<sup>3</sup>; водопоглощением 0,5%.

### 2.2.3 Минеральный наполнитель

Повышенный расход цемента в мелкозернистых бетонных смесях требует использования технологических приемов для уменьшения доли

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

вяжущего без ухудшения свойств бетона. Введение микронаполнителя в бетонную смесь позволяет уплотнить структуру бетона, снизить долю цемента. В зависимости от химической активности и минерального состава наполнитель может также оказывать пуццолановый эффект. В качестве минерального наполнителя, обладающего пуццолановой активностью, использована зола-унос Троицкой теплоэлектростанции – тонкодисперсный порошок, образующийся при сжигании углей (таблица 2.4). Размер сферических частиц золы-унос 0,5 – 200 мкм, удельная поверхность в исходном состоянии 380 м<sup>2</sup>/кг.

Таблица 2.4 – Химический состав золы-унос

Содержание, %							
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	п.п.п.
47,5	17,7	3,8	14,7	3,3	1,1	2,6	9,3

Для повышения микронаполняющего и пуццоланового эффекта золы-унос подвергали активации в высокоскоростной шаровой мельнице Емах. После 25 мин измельчения удельная поверхность золы-унос возросла до 9580 м<sup>2</sup>/кг.

Введение микронаполнителя в мелкозернистую бетонную смесь привело к достижению следующих результатов:

- увеличение количества дисперсных частиц в цементном тесте, которое снижает расслоение бетонной смеси;
- увеличение степени гидратации цемента; при введении наполнителя возникает большая дополнительная поверхность раздела «наполнитель – вода»; на поверхности наполнителя отлагаются продукты гидратации цемента, а мельчайшие частички золы-уноса могут служить центрами кристаллизации;
- повышение трещиностойкости бетона; введение наполнителя позволяет снизить расход цемента и тепловыделение бетона, что уменьшает вероятность образования термических микротрещин. Однако введение наполнителя с высокой удельной поверхностью способно увеличить водопотребность бетонной смеси. Поэтому эффективность микронаполнителя достигается, как

правило, в сочетании с добавками пластифицирующего действия. В исследованиях активированная зола-унос является составляющей комплексной органоминеральной добавки. Содержание микронаполнителя требует оптимизации, поскольку присутствие значительного количества тонкодисперсных частиц золы-унос сопровождается возникновением поверхности раздела «продукты гидратации цемента – наполнитель», ослабляющей камень бетона.

#### 2.2.4 Добавки пластифицирующего действия

Химические добавки – неотъемлемая составляющая современных бетонных смесей. Химические добавки позволяют регулировать свойства формовочных масс, влияют на процессы твердения и структурообразования бетона. Добавки пластифицирующего действия позволяют не только получать смеси повышенной подвижности без увеличения водосодержания, а также способствуют снижению капиллярной пористости цементного камня бетона, повышая его прочность и долговечность. Использование добавок пластифицирующего действия в исследовании обусловлено стремлением сократить расход воды затворения при сохранении реологических свойств бетонной смеси. В результате предполагается получить камень бетона с повышенной плотностью структуры, обладающей стойкостью к морозному разрушению и воздействию агрессивной среды. Для обоснованного выбора наиболее эффективных добавок пластифицирующего действия, которые в последующем послужат составляющей органоминеральных комплексов использованы суперпластификаторы, охарактеризованные в таблице 2.5. Выбору указанных добавок предшествовал обзор научно-технической информации, опыт использования пластификаторов предприятиями строительной индустрии (рисунок 2.6).

Предпочтение отдано добавкам, способствующим повышению долговечности бетона.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33



Рисунок 2.6 – Добавки пластифицирующего действия

Для исследований использовали химические добавки, производимые компаниями, известными на строительном рынке: «BASF», «Современные Строительные Технологии» и другими.

Химические добавки приобретены в лабораториях предприятий по производству железобетонных изделий.

Таблица 2.5 – Характеристика добавок пластифицирующего действия

Название	Особенности состава	Эксплуатационные свойства	Рекомендуемые концентрации, % массы цемента
Реофит 765	Не содержит хлориды	Пластифицирующий эффект. Повышение уплотняемости Увеличение морозостойкости.	0,3 – 0,6
Штайнберг GROS-63 MB	На основе полимера эфиров поликарбоксилатов	Повышение подвижности бетонной смеси с П1 до П5. Увеличение морозостойкости и водонепроницаемости бетона.	0,3 – 0,9
Rheobuild 181 K	Не содержит хлориды, включает противоморозный компонент	Обеспечение реопластичных характеристик бетонной смеси.	0,5 – 1,0
Master Rheobuild 716	На основе синтетического полимера	Обеспечение реопластичных характеристик бетонной смеси. Обеспечивает морозостойкость бетона.	0,6 – 0,8

## Окончание таблицы 2.5

Название	Особенности состава	Эксплуатационные свойства	Рекомендуемые концентрации, % массы цемента
Master Life WP701	На основе модифицированного лигносульфоната	Водоредуцирующий эффект. Повышение водонепроницаемости бетона.	0,3 – 0,8
Гипер Пласт 180	На основе модифицированных поликарбоксилатов, не содержит хлориды	Повышение подвижности бетонной смеси с П1 до П5. повышение прочности, водонепроницаемости, морозостойкости долговечности бетона.	0,2 – 1,0
SikaPlast-520	На основе поликарбоксилатов	Повышение подвижности бетонной смеси с П1 до П5. Повышение прочности, водонепроницаемости и морозостойкости бетона.	0,6 – 1,0
Master Rheobuild 1000	На основе нафталинсульфоната	Повышение подвижности бетонной смеси с П1 до П5.	0,5 – 3,5

Добавки пластифицирующего действия представляют собой водные растворы зачастую коричневого цвета с концентрацией основного вещества в среднем 35 – 60 %.

### 2.2.5 Воздухововлекающая добавка

Эффективным приемом повышения стойкости бетона к морозному разрушению и сульфатной агрессии является введение воздухововлекающих добавок. Воздухововлечение бетона – искусственное образование закрытых воздушных пор в цементном камне. Закрытые, не заполненные водой поры служат как компенсационные пространства при увеличении объема экспансивных фаз (кристаллы льда, образующегося при замерзании воды; кристаллы вторичного эттрингита, энергично растущие в условиях сульфатной коррозии цементного камня). Резервный объем воздушных пор не заполняется при обычном водонасыщении бетона, но доступен для проникновения воды под давлением, возникающем при ее замерзании. Надлежащий эффект дости-

									Лист
									35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ				

гается не только обеспечением определенного объема воздухововлечения, но и получением воздушных пор возможно меньшего размера. Это позволит уменьшить общий объем пор и будет способствовать повышению стойкости бетона при наименьшем снижении прочности бетона вследствие воздухововлечения. В исследованиях использована воздухововлекающая добавка «Аэропласт». Добавка «Аэропласт» – смесь олигомерных модифицированных полиметиленафталинсульфонатов. Рациональной областью применения воздухововлекающей добавки является производство бетона с улучшенными показателями по морозостойкости. Добавку «Аэропласт» рекомендуют применять при производстве изделий из бетонов различного назначения (легкого, тяжелого, мелкозернистого и других). Применение добавки «Аэропласт» в бетонных смесях позволяет: увеличить воздухововлечение в бетонную смесь на 2 – 6%; получить бетоны с повышенной морозостойкостью; обеспечить более качественное уплотнение и формование более однородной микроструктуры изделий. Добавка «Аэропласт» совместима с пластифицирующими добавками на основе лигносульфонатов, поликарбосилатов, нафталинсульфонатов. Рекомендуемый диапазон дозировок воздухововлекающей добавки от массы цемента составляет: 0,03 – 0,1%.

В экспериментах использована добавка в виде водного раствора концентрацией 35%, произведенная в ОАО «Полипласт» (ГОСТ 24211–2003).

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

### 3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

Для достижения цели работы – подбора и исследования влияния комплексных добавок на стойкость мелкозернистого бетона в условиях морозной и сульфатной агрессии составлена структурно-логическая схема экспериментальных исследований, предусматривающая решение 7 задач (рисунок 3.1)

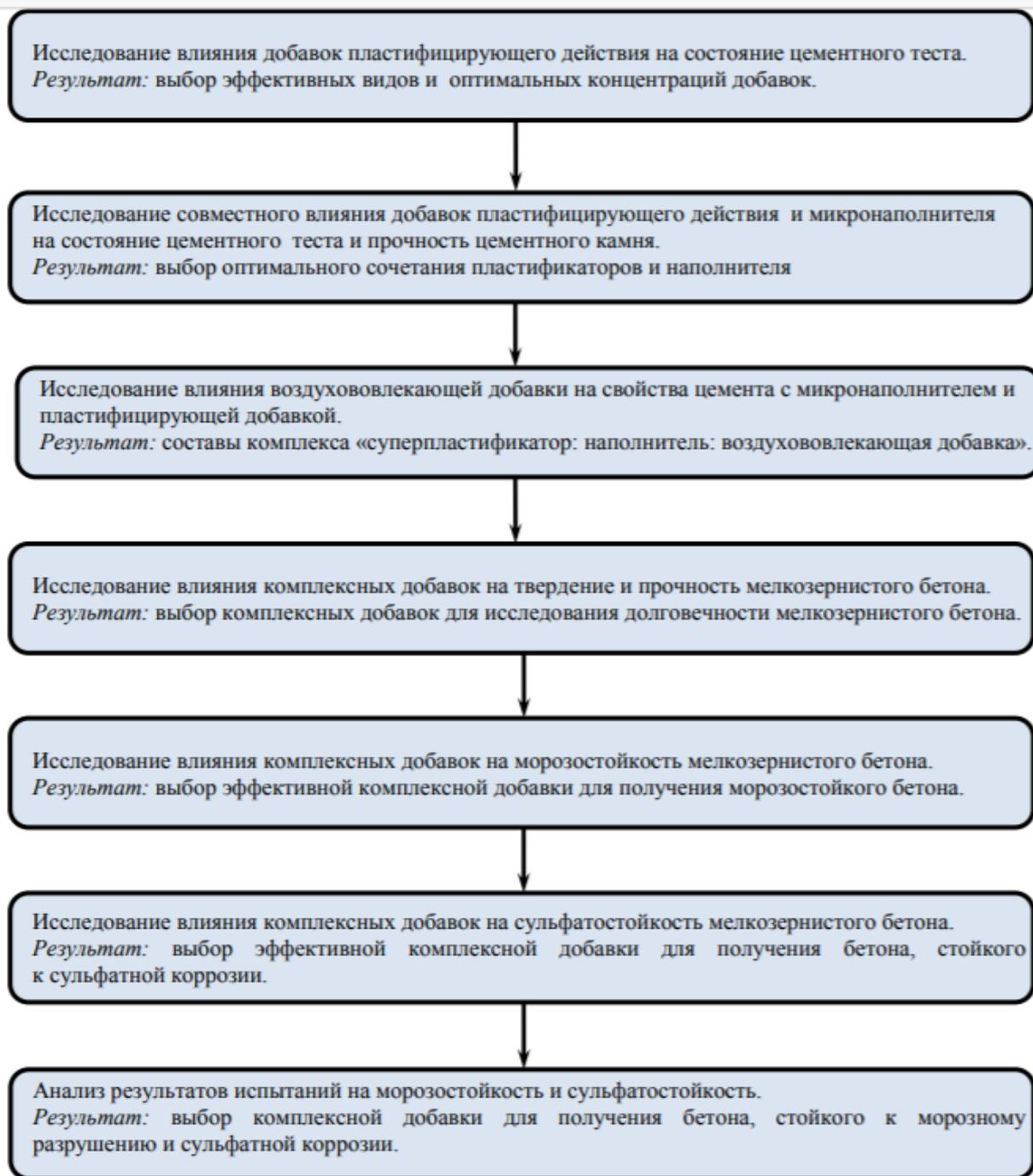


Рисунок 3.1 Структурно-логическая схема исследований влияния комплексных добавок на долговечность мелкозернистого бетона

Схема предусматривает выбор эффективной комплексной добавки путем поэтапного сужения круга исследуемых добавок.

Цементный камень - химически активная и физически уязвимая составляющая бетона. Воздействие агрессивных эксплуатационных факторов направлено, главным образом, на цементный камень. Введение тонкомольтых минеральных и химических добавок сопровождается изменениями структуры цементного камня. Поэтому в исследованиях сделан акцент на изучении свойств цементного теста и затвердевшего камня в присутствии добавок.

3.1 Исследование влияния добавок пластифицирующего действия на свойства цементного теста

Для сравнительной оценки пластифицирующего эффекта добавок исследовано их влияние на состояние цементного теста. Концентрация добавок принята с учетом рекомендаций производителей и производственных лабораторий. Добавки вводили в воду затворения. Количество воды соответствовало нормальной густоте портландцемента (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Влияние добавок пластифицирующего действия на состояние цементного теста

Наименование добавки	Концентрация добавки, % массы цемента	Расстояние от пластины до пестика прибора Вика, мм	Диаметр расплыва цементной суспензии, мм
Без добавки	0	5	–
Реофит 765	0,50	2	–
	0,75	1	–
	1,00	0	75
Штайнберг GROS-63 MB	0,50	3	–
	0,75	1	–
	1,00	0	–
Rheobuild 181 K	0,50	0	75
	0,75	0	90
	1,00	0	115
MasterRheobuild 716	0,50	0	75
	0,75	0	115
	1,00	0	125

Окончание таблицы 3.1

Наименование добавки	Концентрация добавки, % массы цемента	Расстояние от пластины до пестика прибора Вика, мм	Диаметр расплыва цементной суспензии, мм
Master Life WP701	0,50	0	85
	0,75	0	115
	1,00	0	140
Гипер Пласт 180	0,50	0	215
	0,75	0	270
	1,00	0	300
SikaPlast-520	0,50	0	90
	0,75	0	160
	1,00	0	235
MasterRheobuild 1000	0,50	0	110
	0,75	0	135
	1,00	0	190

Состояние цементного теста оценивали на приборе Вика с пестиком. Для высокоподвижных цементных суспензий определяли диаметр расплыва по вискозиметру Сутгарда.

Анализ полученных результатов показывает, что пластифицирующее действие добавок зависит от их вида и концентрации. Для дальнейшего исследования выбраны суперпластификаторы, проявившие наибольший водоредуцирующий эффект: «Гипер Пласт 180», «SikaPlast-520», «MasterRheobuild 1000».

На следующем этапе исследовано влияние суперпластификаторов в комплексе с минеральным наполнителем. В качестве наполнителя использована зола-унос, удельная поверхность которой после механической активации повысилась от 380 до 9580 м<sup>2</sup>/кг. Минеральный наполнитель вводили в цемент в количестве 5 – 15% (таблица 3.2). Суперпластификаторы добавляли в количествах, обеспечивающих наибольший водоредуцирующий эффект.

Таблица 3.2 – Влияние добавок пластифицирующего действия на состояние цементного теста с микронаполнителем

Содержание минерального наполнителя, %	Суперпластификатор		Нормальная густота цементного теста, %	
	наименование	концентрация, %		
0	нет	0	25,25	
0	Гипер Пласт 180	0,75	22,00	
0		1,00	19,75	
5		0,75	22,00	
5		1,00	19,50	
10		0,75	22,00	
10		1,00	20,00	
15		0,75	23,25	
15		1,00	22,75	
0		SikaPlast-520	0,75	25,00
0			1,00	22,75
5	0,75		25,25	
5	1,00		22,00	
10	0,75		25,75	
10	1,00		23,50	
15	0,75		26,50	
15	1,00		25,75	
0	Master Rheobuild 1000	0,75	25,00	
0		1,00	24,75	
5		0,75	25,75	
5		1,00	24,50	
10		0,75	25,75	
10		1,00	24,25	
15		0,75	27,25	
15		1,00	26,75	

Минеральный наполнитель тщательно смешивали с цементом, затем затворяли водой с добавкой пластификатора.

Введение минерального наполнителя, характеризующегося высокой удельной поверхностью, сопровождается повышением водопотребностью цемента, значения которой в ряде случаев превосходят аналогичный показатель бездобавочного цемента.

Прочностные показатели цементов определены при испытании образцов размером 20x20x20 мм, изготовленных из теста нормальной густоты (рисунки 3.2 – 3.4). Анализ полученных результатов свидетельствует о зависимости прочности цементного камня от содержания минерального наполнителя, вида и концентрации суперпластификатора, введенного при затворении цемента. Предпочтительны составы цементов, содержащие 10% минерального наполнителя, отличающиеся наибольшими прочностными показателями.

Результаты экспериментов свидетельствуют об эффективности сочетания наполнителя и суперпластификатора. Подвижность цементного теста находится под влиянием той части пластифицирующей добавки, которая адсорбируется на поверхности твердых частиц и существенно влияет на поверхностные взаимодействия и эффект смазки. Другая часть суперпластификатора содержится в водном растворе в пространстве между зернами цемента, является пассивной и обуславливает увеличение расхода добавки. Введение наполнителя уменьшает объем межзерновых пустот в цементном тесте, повышает удельную поверхность твердой фазы и тем самым увеличивает долю активного суперпластификатора.

При применении минерального наполнителя, обладающего пуццолановой активностью, проявляется его влияние на структурообразование появление в цементном камне дополнительных новообразований. Это обеспечивает получение слитной и высокоплотной структуры камня. Активизация золы-уноса способствовало повышению пуццоланоспособной поверхности и обеспечило получение цементного камня повышенной плотности и прочности.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

Основным разупрочняющим дефектом структуры бетона является повышенная пористость, которая образуется вследствие повышенного водосодержания при затворении бетонной смеси, деструкции бетона во время эксплуатации и выражается в разрыхлении структуры, ослаблении связи между новообразованиями в цементном камне, цементным камнем и частицами заполнителя.

Эффект сочетания суперпластификаторов с тонкомолотым наполнителем можно объяснить следующим. Для получения бетона повышенной долговечности необходимо заполнить межзерновое пространство в бетоне гидратными новообразованиями цемента. Известно, что при твердении цемента объем твердой фазы увеличивается более чем вдвое. Однако при высоких значениях В/Ц и малой степени гидратации цемента новообразований не хватает для заполнения межзернового пространства, и в бетоне остаются крупные поры и капилляры, резко снижающие долговечность. Введение ультратонких наполнителей, уменьшает межзерновую пористость бетона и позволяет получать достаточно плотные и долговечные бетоны. Наличие ультратонких наполнителей гарантирует стойкость бетона в случаях, когда отрицательное внешнее воздействие начинается ранее, чем цементный камень гидратируется в достаточной степени и бетон приобретает необходимую плотность.

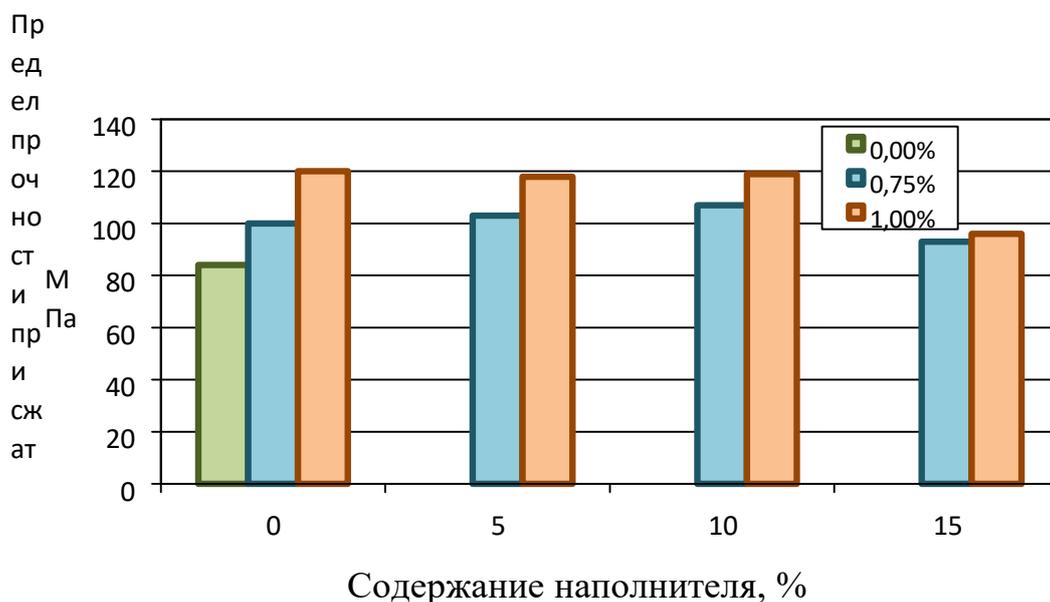


Рисунок 3.2 – Влияние добавки «Гипер Пласт 180» на прочностные показатели цемента с различным содержанием минерального наполнителя в возрасте 28 суток

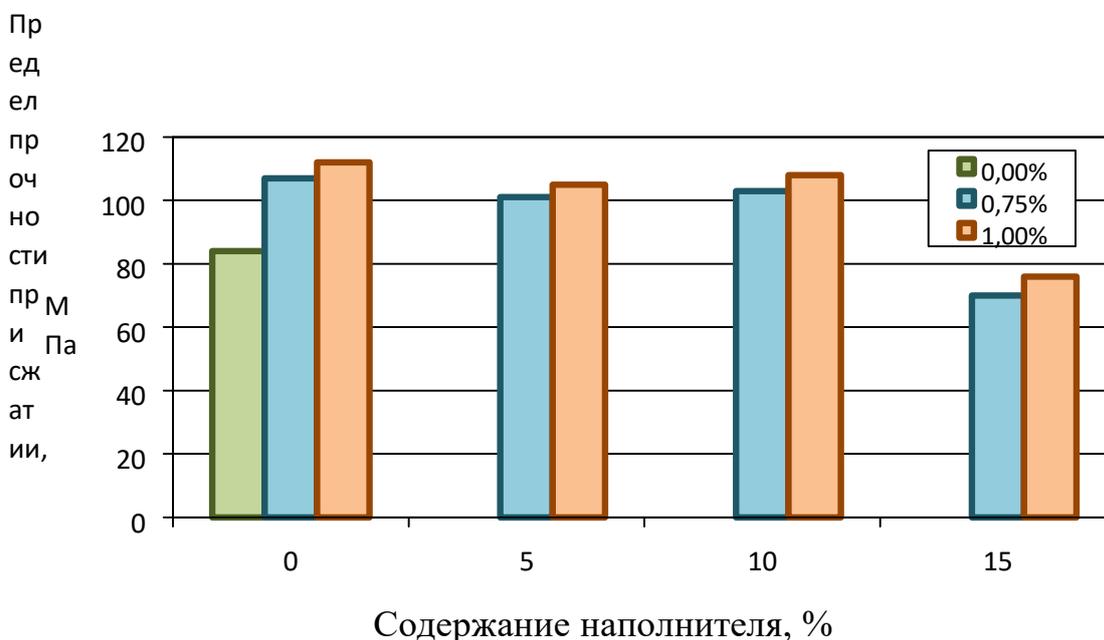


Рисунок 3.3 – Влияние добавки «SikaPlast-520» на прочностные показатели цемента с различным содержанием минерального наполнителя в возрасте 28 суток

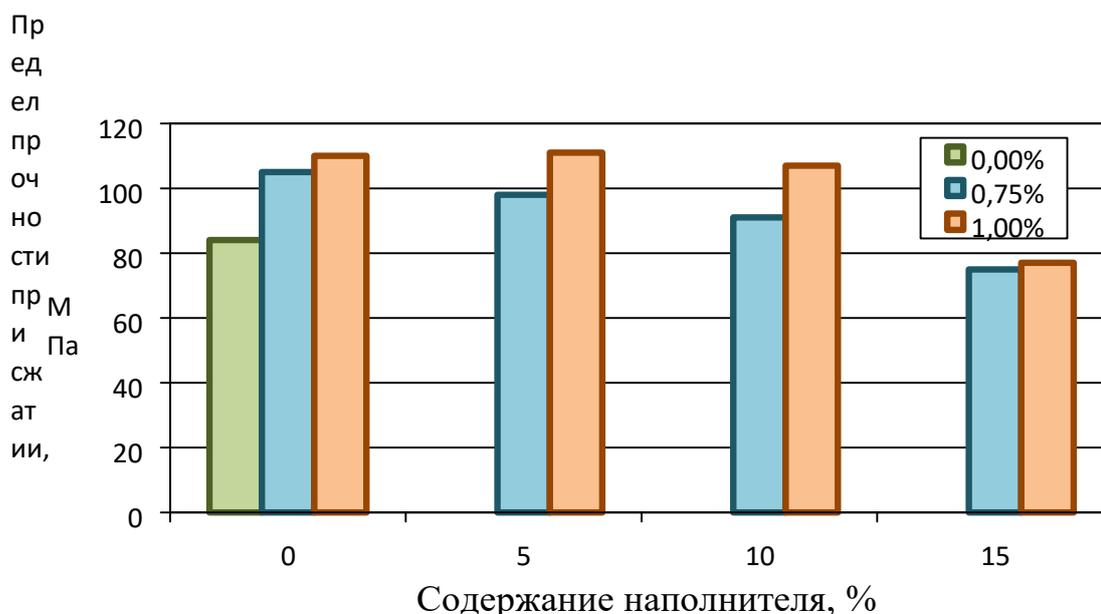


Рисунок 3.4 – Влияние добавки «MasterRheobuild 1000» на прочностные показатели цемента с различным содержанием минерального наполнителя в возрасте 28 сут

Для дальнейших исследований приняты цементы с 10% минерального наполнителя и 1% суперпластификаторов. Такое сочетание добавок обеспечивает увеличение прочности цементного камня на 27 – 42 %.

### 3.2 Исследование влияния воздухововлекающей добавки на свойства цемента

Воздухововлекающую добавку «Аэропласт» вводили в различном количестве в цемент с 10% минерального наполнителя (активированная зола-унос) в сочетании с суперпластификаторами (таблица 3.3). Результаты экспериментов свидетельствуют о снижении водопотребности исследуемого цемента при введении добавки «Аэропласт». Это согласуется с известными представлениями о пластифицирующем эффекте воздухововлекающих добавок, относящихся к поверхностно-активным веществам. Наибольший эффект снижения значений нормальной густоты отмечен при сочетании добавки «Аэропласт» и «Гипер Пласт 180».

Таблица 3.3 – Влияние воздухововлекающей добавки на состояние цементного теста с наполнителем

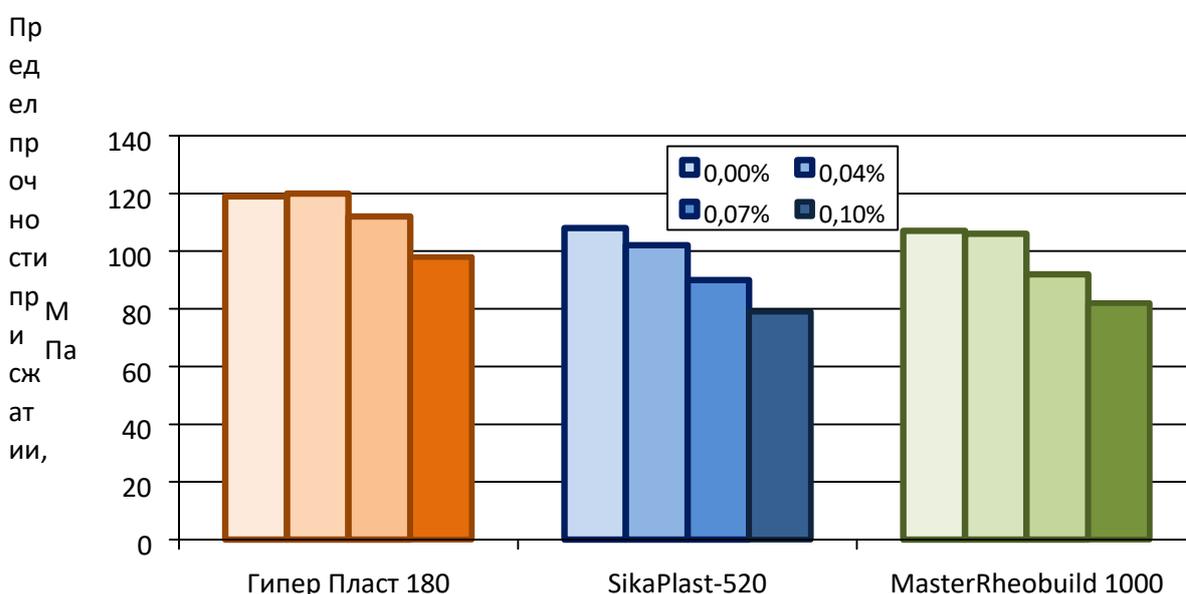
Концентрация воздухововлекающей добавки, %	Суперпластификатор		Нормальная густота цементного теста, %
	наименование	концентрация, %	
0	нет	0	25,25
0	Гипер Пласт 180	1,00	20,00
0,04			20,00
0,07			19,50
0,10			19,25
0			SikaPlast-520
0,04	23,25		
0,07	23,00		
0,10	22,50		

Окончание таблицы 3.3

Концентрация воздухововлекающей добавки, %	Суперпластификатор		Нормальная густота цементного теста, %
	наименование	концентрация, %	
0	Master Rheobuild 1000	1,00	24,25
0,04			24,00
0,07			23,50
0,10			23,25

Испытания образцов цементного камня показали (рисунок 3.5), что по мере увеличения концентрации воздухововлекающей добавки происходит снижение прочности, которое вызвано увеличением объема пор, сформированных добавкой «Аэропласт».

Характер изменения прочности цементного камня зависит от вида суперпластификатора. В сочетании с добавкой «Гипер Пласт 180» прочность снижается на 6 – 18% при концентрации добавки «Аэропласт» 0,07 - 0,1%. В сочетании с добавкой «SikaPlast-520» прочность снижается на 6 - 26% при концентрации добавки «Аэропласт» 0,04 - 0,1%. В сочетании с добавкой «MasterRheobuild 1000» прочность цементного камня снижается на 1 - 24% при концентрации добавки «Аэропласт» 0,04 - 0,1%.



## Название суперпластификатора

Рисунок 3.5 – Влияние концентрации воздухововлекающей добавки «Аэропласт» и вида суперпластификатора (1%) на прочностные показатели цемента с содержанием минерального наполнителя 10% в возрасте 28 суток

Для дальнейших исследований приняты следующие составы комплексных органоминеральных добавок:

- Г4 (1% добавки «Гипер Пласт 180» + 10% золы-унос + 0,04% добавки «Аэропласт»);
- Г7 (1% добавки «Гипер Пласт 180» + 10% золы-унос + 0,07% добавки «Аэропласт»);
- С4 (1% добавки «SikaPlast-520» + 10% золы-унос + 0,04% добавки «Аэропласт»);
- С7 (1% добавки «SikaPlast-520» + 10% золы-унос + 0,07% добавки «Аэропласт»);
- М4 (1% добавки «MasterRheobuild 1000» + 10% золы-унос + 0,04% добавки «Аэропласт»);
- М7 (1% добавки «MasterRheobuild 1000» + 10% золы-унос + 0,07% добавки «Аэропласт»).

Указанные добавки обеспечивают существенный водопонижающий эффект и сохраняют высокую прочность цементного камня.

### 3.3 Исследование влияние комплексных добавок на твердение и прочность мелкозернистого бетона

Бетонные смеси готовили на основе портландцемента, наполнителя (10% золы-унос от массы цемента), вольского песка, суперпластификаторов и воздухововлекающей добавки. Порядок приготовления бетонной смеси: портландцемент тщательно смешивали с наполнителем, затем вводили вольский песок. В перемешанную смесь сухих компонентов добавляли часть воды затворения с суперпластификатором, после непродолжительного пере-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

мешивания (30 с) вводили другую часть воды затворения с воздухововлекающей добавкой, в завершении добавляли оставшуюся часть воды затворения. Соотношение между цементом и заполнителем принято равным 1:2,75. Для получения равноподвижных бетонных смесей с диаметром расплывом конуса 110 – 115 мм экспериментально определено количество воды затворения для формовочных масс (таблица 3.4).

Таблица 3.4 – Влияние комплексных добавок на свойства мелкозернистого бетона

	Состав комплексной добавки, % массы цемента				В/Ц	Распльв конуса, мм	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте, сут	
	зола-унос	суперпластификатор		Аэропласт			2	28
		название	%					
1	0	0	0	0	0,37	112	15,2	39,7
2	10	Гипер Пласт 180	1	0,04	0,31	115	21,6	57,8
3	10	Гипер Пласт 180	1	0,07	0,30	111	18,3	46,2
4	10	SikaPlast-520	1	0,04	0,34	110	16,8	46,7
5	10	SikaPlast-520	1	0,07	0,33	113	12,3	41,5
6	10	MasterRheobuild 1000	1	0,04	0,35	112	18,3	48,6
7	10	MasterRheobuild	1	0,07	0,34	114	12,6	40,6

Результаты испытаний бетонных образцов размером 70x70x70 мм показали, что комплексная добавка Г4 на основе суперпластификатора «Гипер Пласт 180» повышает марочную прочность бетона на 46%, родственная по составу добавка Г7 на 16% по сравнению с контрольными образцами бездобавочного бетона.

Комплексная добавка С4 на основе суперпластификатора «SikaPlast-520» повышает марочную прочность бетона на 16%, а родственная по составу

ву добавка С7 только на 5% по сравнению с контрольными образцами из бетона без добавок.

Комплексная добавка М4 на основе суперпластификатора «MasterRheobuild 1000» повышает марочную прочность бетона на 22%, а родственная по составу добавка С7 всего на 2% по сравнению образцами из бетона без добавок.

Учитывая характер влияния комплексных добавок на прочность, для исследований долговечности мелкозернистого бетона отдано предпочтение комплексным добавкам Г4, Г7, С4 и М4.

### 3.4 Испытание мелкозернистого бетона с комплексными добавками на морозостойкость

Морозостойкость – важнейшее свойство бетона, определяющее долговечность многочисленных сооружений.

Морозостойкость бетона – свойство влажного бетона переносить многократное замораживание и оттаивание, связанное с миграцией влаги в конструкции и с изменением фазового состава воды, находящейся в порах материала.

Снижение долговечности влажного бетона при его попеременном замораживании и оттаивании обусловлено возникновением напряжений при образовании льда в порах бетона. Поскольку объем, занимаемый льдом, на 9 % больше объема воды, стенки пор испытывают значительные растягивающие напряжения, постепенно расшатывающие бетон. С понижением температуры водонасыщенного затвердевшего бетона вода, проникая в поры цементного камня, замерзает и вызывает расширение бетона.

Различают две основные гипотезы о том, как передаются напряжения на элементы структуры бетона, приводящие к морозному разрушению.

Первая гипотеза – растягивающих напряжений: причина разрушения – непосредственное локальное воздействие кристаллизующегося льда на стен-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

ки пор. В таких участках возникает местное перенапряжение, способное вызвать разрушения в наиболее слабых элементах структуры конгломерата. Сначала образуются локальные микротрещины, которые перерастают в магистральные макротрещины.

Вторая гипотеза – гидравлического давления: главная причина разрушения – гидравлическое давление, возникающее во влажном бетоне под влиянием замерзающей воды. Это давление создается в порах и капиллярах бетона в результате сопротивления структуры камня продавливанию через поры геля поровой жидкости, отжимаемой льдом.

Морозостойкость бетона зависит от следующих основных факторов:

- структуры цементного камня бетона;
- структуры заполнителя бетона;
- состояния контактной зоны между цементным камнем и заполнителем.

Пористость и структура цементного камня – решающие критерии морозостойкости. Особенно важен характер распределения пор, заполненных водой. Вода замерзает в результате понижения температуры постепенно: начиная от самых больших капилляров и заканчивая самыми маленькими. Закрытые поры, не заполненные водой, не вызывают морозного разрушения.

Многочисленными исследованиями [14 – 19] установлено, что свойства мелкозернистого и обычного крупнозернистого бетонов в большинстве случаев определяются одними факторами. Отличительными особенностями мелкозернистых бетонов, являются: большая однородность структуры, повышенное содержание цементного камня, высокая удельная поверхность заполнителя значительная площадь контактной зоны заполнителя с цементным камнем.

Особенности структуры мелкозернистого бетона обуславливают специфику технологических параметров получения и физико-механические свойства этого композиционного материала.

					<i>08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

Для обеспечения стойкости исследуемого *бездобавочного* бетона к морозному разрушению в работе предусмотрены технологические мероприятия:

– алитовый низкоалюминатный бездобавочный портландцемент свежего тонкого помола – способствуют формированию прочной кристаллической структуры цементного камня;

– однородность минерального состава, ограничение вредных примесей, невысокое водопоглощение, чистота поверхности части заполнителя – обеспечивают морозостойкость зерен заполнителя, пониженную дефектность контактной зоны бетона;

– ограничение содержания воды в составе бетонной смеси: водоцементное отношение (В/Ц), равное 0,37 и обеспечивающее формирование мелкопористой структуры цементного камня и с малым количеством замерзающей воды;

– тщательное уплотнение бетонной смеси путем послойной укладки и вибрирования формовочной массы в течение 120 с;

– благоприятные условия твердения бетона: температура 20 – 25°C, влажность среды 90 – 95%.

Для *повышения морозостойкости* исследуемого мелкозернистого бетона использовано модифицирование, которое реализует два различных способа увеличения устойчивости бетона к процессам морозного разрушения:

– уплотнение структуры бетона, уменьшение объема макропор и их проницаемости для воды (снижение В/Ц за счет водоредуцирующих добавок – суперпластификаторов вкуче с микронаполнителем, проявляющим пуццолановую активность);

– создание резервного объема воздушных пор в бетоне, которые не заполняются при обычном водонасыщении бетона, но доступны для проникновения воды под давлением, возникающем при ее замерзании (введение воздухововлекающей добавки).

					<i>08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Испытания бетона на морозостойкость проводили по методике, описанной в разделе 2.1.4. Оценка стойкости бетона к морозному воздействию осуществлялась по второму базовому методу, предусматривающему, что образцы бетона, подлежащие испытаниям на морозостойкость, насыщают и в процессе испытаний оттаивают не в воде, а в 5 %-ном водном растворе хлорида натрия. Предпочтительность метода переопределена тем, что замораживание и оттаивание в солевой среде моделируют условия эксплуатации для дорожных и аэродромных бетонов. Учтено, что цель исследования предусматривает испытание бетона на стойкость к солевой агрессии. Испытания по указанному методу позволяют ускорить разрушительные процессы в бетоне, а значит сократить продолжительность испытаний.

В качестве критериев стойкости бетона к морозному воздействию приняты сравнительные характеристики испытываемых и контрольных образцов по прочности и внешним показателям целостности структуры.

Наблюдение изменений массы образцов, используемое в ряде испытаний на морозостойкость бетона, признано нецелесообразным в данных исследованиях по причине преимущественно внутренних повреждений испытываемых образцов.

Результаты испытаний мелкозернистого бетона на морозостойкость приведены в таблице 3.5. Критерием стойкости исследуемого бетона принято количество циклов попеременного замораживания и оттаивания, при котором относительная прочность бетона составляла не менее 95% прочности контрольных образцов (рисунок 3.6). Испытания бетона на прочность прекращали при появлении выразительных признаков разрушения образцов, подвергаемых попеременному замораживанию и оттаиванию.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

Таблица 3.5 – Влияние комплексных добавок на прочность мелкозернистого бетона при морозном воздействии

Добавка	Прочность при сжатии, МПа, после циклов попеременного замораживания и оттаивания (основные образцы / контрольные образцы)					
	50	100	150	200	250	300
0	40,2/40,8	39,9/41,2	35,1/42,3	разрушение		
Г4	66,1/61,2	67,3/61,7	67,5/60,3	67,1/62,1	63,2/59,7	58,1/59,9
Г7	56,1/50,1	55,9/50,8	53,9/49,2	53,1/49,8	50,5/48,6	47,2/49,1
С4	53,5/49,5	52,8/49,8	47,3/48,7	44,1/48,5	разрушение	
М4	54,9/50,9	54,1/51,0	50,6/50,5	47,7/49,7	44,9/48,9	разрушен

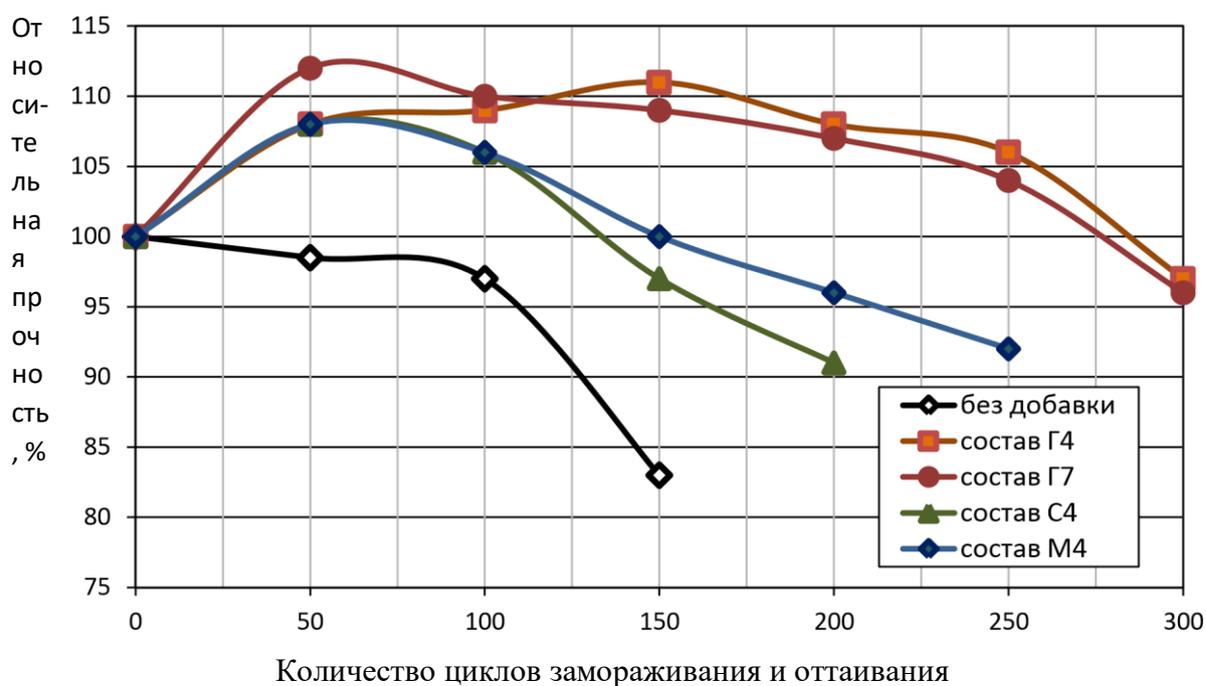


Рисунок 3.6 – Влияние вида комплексных добавок на морозостойкость мелкозернистого бетона

Образцы бездобавочного бетона не проявили значительных внешних признаков разрушения до 150 циклов включительно (рисунок 3.7), однако по показателям прочности морозостойкость бездобавочного бетона сохраняется до 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания.



Рисунок 3.7 – Эволюция разрушения бездобавочного мелкозернистого бетона в результате попеременного замораживания и оттаивания после 100 (1), 150 (2), 200 (3, 4 и 5) циклов

Морозостойкость модифицированного бетона зависит от состава комплексных добавок. Наименьшие показатели стойкости к попеременному замораживанию и оттаиванию в ряду модифицированных бетонов отмечены для состава с добавкой С4, морозостойкость которого соответствует по относительной прочности 150 циклам, однако признаки внешнего разрушения выявлены после 250 циклов испытаний (рисунок 3.8).

Модифицированный мелкозернистый бетон состава М4 по относительной прочности характеризуется морозостойкостью при 200 циклах, выразительные признаки внешнего разрушения отмечены при 300 циклах (рисунок 3.9).



Рисунок 3.8 – Характер разрушения мелкозернистого бетона состава С4 в результате попеременного замораживания и оттаивания после 200 (1), 250 (2, 3 и 4) циклов



Рисунок 3.9 – Характер разрушения мелкозернистого бетона состава М4 в результате попеременного замораживания и оттаивания после 300 циклов

Максимальные показатели морозостойкости достигнуты для бетона составов Г4 и Г7 соответствуют по относительной прочности 300 циклам.

Первые признаки внешнего разрушения выявлены только после 350 циклов испытаний (рисунки 3.10 и 3.11). Абсолютные показатели прочности бетона состава Г4 наибольшие, при этом значения относительной прочности и характер разрушения составов Г4 и Г7 весьма близки.

Испытание бетона на морозостойкость показывает, что в процессе циклического замораживания происходит немонотонное снижение прочности. На начальных стадиях испытания прочность не снижается или повышается по сравнению с прочностью контрольных образцов. Это можно объяснить особенностью поведения цементной составляющей: в бетоне остаются зерна цемента, не полностью прореагировавшие с водой и способные к твердению. Гидратация этой части цемента при испытании на морозостойкость может происходить в период оттаивания образцов.

При испытании бетона одновременно протекают два конкурирующих процесса: деструктивный – разрушение цементного камня при замораживании и структурирующий – рост прочности цементного камня во время нахо-

ждения образцов в водном растворе. В начале испытаний суммарный эффект может быть положительным – прочность бетона увеличивается. Затем начинает превалировать процесс деструкции, и прочность бетона снижается.



Рисунок 3.10 – Характер разрушения мелкозернистого бетона состава Г4 в результате попеременного замораживания и оттаивания после 350 циклов



Рисунок 3.11 – Характер разрушения мелкозернистого бетона состава Г7 в результате попеременного замораживания и оттаивания после 350 циклов

При сопоставлении внешних изменений образцов исследуемого бетона следует отметить принципиальные сходства признаков разрушения, которые проявляются в основном в виде трещин, возникающих преимущественно в центральных участках образцов и прорастающих в последующем в магистральные зияющие трещины с шириной раскрытия более 1 мм. Развитие тре-

щин происходит, главным образом, по контактной зоне между цементным камнем и заполнителем и приводит к отделению фрагментов образцов. Отмеченный характер морозного разрушения образцов, по-видимому, обусловлен условиями испытания образцов мелкозернистого бетона в солевой среде.

Сравнительный анализ результатов испытания мелкозернистого бетона с различными комплексными добавками позволяет отдать предпочтение бетону, модифицированному комплексной добавкой – Г4 (1% добавки «Гипер Пласт 180» + 10% золы-унос + 0,04% добавки «Аэропласт»).

Эффект повышения морозостойкости модифицированного бетона заключается в изменении структуры бетона: минимизации капиллярных пор, наполняемых водой; уменьшении межзернового пространства в цементном камне; образованием закрытых воздушных пор в цементном камне, которые служат как компенсационные пространства при увеличении объема льда.

### 3.5 Испытание мелкозернистого бетона с комплексными добавками на сульфатостойкость

Термином «сульфатная коррозия» характеризуют разрушения бетона при взаимодействии сульфатных сред различных типов с цементным камнем.

При этом стойкость материала во многом определяется условиями твердения и особенностями сульфатного воздействия. Такой вид коррозии возможен при наличии в воздействующей среде сульфат-ионов. Кроме этого, коррозия развивается и при воздействии пресных вод на бетоны с внутренними источниками сульфатов. Сульфатная коррозия наблюдается при воздействии растворов сульфатов или при использовании заполнителей, содержащих примеси гипса. Сульфатная коррозия объединяет процессы, при развитии которых в порах и капиллярах бетона накапливаются и кристаллизуются малорастворимые соли. Это вызывает значительные напряжения в стенках капилляров и пор, ограничивающих рост кристаллов, и вследствие этих напряжений – разрушение структуры. К этому виду коррозии относят процессы при действии сульфатов, связанные с накоплением и ростом кристаллов гидросульфата алюмината кальция, гипса и других соединений. Осо-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

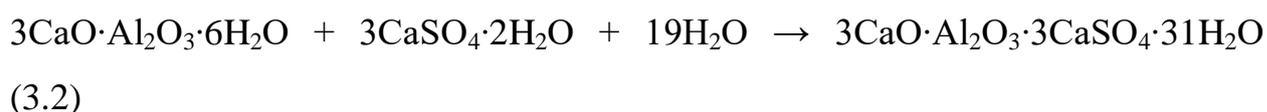
бенность сульфатной коррозии: в порах и капиллярах бетона образуются и кристаллизуются с большим увеличением объема новые соединения. Кристаллизация новообразований вызывает развитие высоких внутренних напряжений, растрескивание и разрушение бетона [20 – 30].

Разновидностями сульфатной коррозии (коррозии третьего вида) являются: гипсовая (с кристаллизацией гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ); магниезульфатная (с кристаллизацией гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и образованием  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ); сульфоалюминатная (с кристаллизацией этtringита  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$ ).

Сульфатная гипсовая агрессия происходит при действии вод, содержащих преимущественно сульфаты натрия. Сульфат натрия взаимодействует с гидроксидом кальция цементного камня по схеме:



Образующийся сернокислый кальций повышает концентрацию в воде ионов  $\text{SO}^{-4}$  и  $\text{Ca}^{+2}$ , необходимую для взаимодействия с находящимся в твердой фазе трехкальциевым гидроалюминатом кальция и образования гидросульфоалюмината кальция (ГСАК) – этtringита:

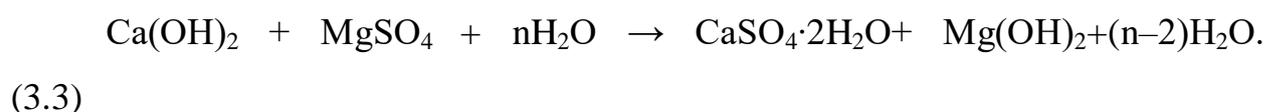


Процесс по схеме (3.2) отражает сульфоалюминатную коррозию. Образование и последующая кристаллизация ГСАК с 31–32 молекулами  $\text{H}_2\text{O}$  связаны со значительным увеличением объема твердой фазы. При участии в реакции  $\text{C}_3\text{A}$  увеличение объема происходит приблизительно в 1,63, а при участии  $\text{C}_3\text{A}$  и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – в 2,27 раза. В результате возникают большие внутренние напряжения, вызывающие образование трещин и разрушение цементного камня и бетона. При высокой концентрации ионов  $\text{SO}^{-4}$  в воде они взаимодействуют с ионами  $\text{Ca}^{+2}$  и образуют дополнительные количества сульфата кальция. Вследствие увеличения объема сульфата кальция при кристаллизации в виде двуводной соли появляются напряжения в местах образования

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		57

CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O в цементном камне, что может разрушить бетон. Если портландцемент содержит высокоактивную минеральную добавку, то вследствие химического связывания гидроксида кальция кремнекислотой, введенной в состав цемента с активной минеральной добавкой, концентрация извести может оказаться столь низкой, что трехкальциевый гидроалюминат растворяется [20, 21, 25].

Магнезиально-сульфатная агрессия является наиболее сильной. При наличии гидроксида кальция в цементном камне происходит реакция:



В результате образуется гипс, и появляются рыхлые аморфные массы гидроксида магния. Если вследствие этой реакции свободной извести Ca(OH)<sub>2</sub> уже не будет в составе твердых фаз цементного камня, и величина pH снизится, начнется гидролиз гидроалюминатов и гидросиликатов кальция.

Результат коррозии третьего вида: растрескивание и последующее разрушение бетона за счет растущих кристаллов новообразований в цементном камне.

Наибольшую разрушительную силу коррозии имеют продукты взаимодействия агрессивной среды и цементного камня – этtringит и таумасит – фазы обладают экспансивным характером.

Сульфатная коррозия представляется комплексным многоэтапным процессом, сложность которого заключается в процессах превращения, перекристаллизации образований, формировании их скоплений и механизма возникновения внутренних напряжений.

Основные мероприятия по предупреждению сульфатной коррозии:

- выбор цемента в зависимости от степени агрессивности среды;
- воздухововлекающих, пластифицирующих и повышающих растворимость Ca(OH)<sub>2</sub> и CaSO<sub>4</sub>;
- связывание Ca(OH)<sub>2</sub> тонкодисперсными кремнеземистыми добавками;

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

- повышение плотности бетона различными способами, в том числе применением низких В/Ц и уплотняющих добавок.

Для обеспечения стойкости исследуемого бездобавочного бетона к сульфатной агрессии в работе предусмотрены технологические мероприятия:

- использование низкоалюминатного портландцемента;
- ограничение содержания воды в составе бетонной смеси: водоцементное отношение (В/Ц), равное 0,37;
- тщательное уплотнение бетонной смеси путем послойной укладки и вибрирования формовочной массы в течение 120 с;
- благоприятные условия твердения бетона: температура 20 – 25°С, влажность среды 90 – 95%.

Для повышения стойкости исследуемого мелкозернистого бетона к сульфатной агрессии использовано модифицирование композиционного материала:

- введение водоредуцирующих добавок, обеспечивающих уплотнение структуры цементного камня;
- добавление активированной золы-унос, связывающей гидроксид кальция в устойчивые гидраты;
- введение воздухововлекающей добавки, создающей резервный объем воздушных пор в бетоне для размещения экспансивных продуктов коррозии.

Испытания бетона на стойкость к сульфатной коррозии проводили по методике, описанной в разделе 2.1.5.

Результаты испытаний приведены в таблицах 3.6 и 3.7. Принято считать, что образцы выдержали испытания, если показатели прочности после хранения в агрессивной и неагрессивной среде различаются не более чем на 15 %; а коэффициент сульфатостойкости не менее 0,85. Прочность бетона на первых этапах испытаний возрастает в агрессивной среде благодаря образованию гидросиликатов кальция и этtringита, которые заполняют поры и микротрещины в цементном камне.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

Таблица 3.6 – Влияние комплексных добавок на стойкость мелкозернистого бетона к воздействию раствора сульфата натрия

Добавка	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте 180 сут		Коэффициент сульфатостойкости в возрасте, сут					
	в воде	в растворе сульфата натрия (5%)	30	60	90	120	150	180
0	44,7	28,2	1,02	0,92	0,86	0,73	0,70	0,63
Г4	61,2	56,9	1,10	1,12	1,10	1,02	0,96	0,93
Г7	50,3	47,8	1,11	1,13	1,10	1,05	1,00	0,95
С4	49,7	35,3	1,08	1,10	0,98	0,87	0,75	0,71
М4	51,6	43,9	1,10	1,11	1,08	0,90	0,88	0,85

Таблица 3.7 – Влияние комплексных добавок на стойкость мелкозернистого бетона к воздействию раствора сульфата магния

Добавка	Прочность при сжатии, МПа, в возрасте 180 сут		Коэффициент сульфатостойкости в возрасте, сут					
	в воде	в растворе сульфата магния (3%)	30	60	90	120	150	180
0	44,7	29,1	1,06	1,10	0,93	0,87	0,75	0,65
Г4	61,2	58,1	1,16	1,12	1,11	0,99	0,96	0,95
Г7	50,3	48,8	1,11	1,13	1,12	1,05	1,01	0,97
С4	49,7	37,8	1,12	1,10	0,97	0,88	0,78	0,76
М4	51,6	44,9	1,10	1,12	1,08	0,90	0,88	0,87

Образцы бездобавочного бетона проявляют стойкость к сульфатной агрессии в течение 90 сут испытаний в растворе сульфата натрия и в течение 120 сут пребывания в растворе сульфата магния. Образцы бездобавочного бетона характеризуются наибольшей деформацией набухания, интенсивный рост которой наблюдается в первые 60 сут (рисунки 3.12 и 3.13).

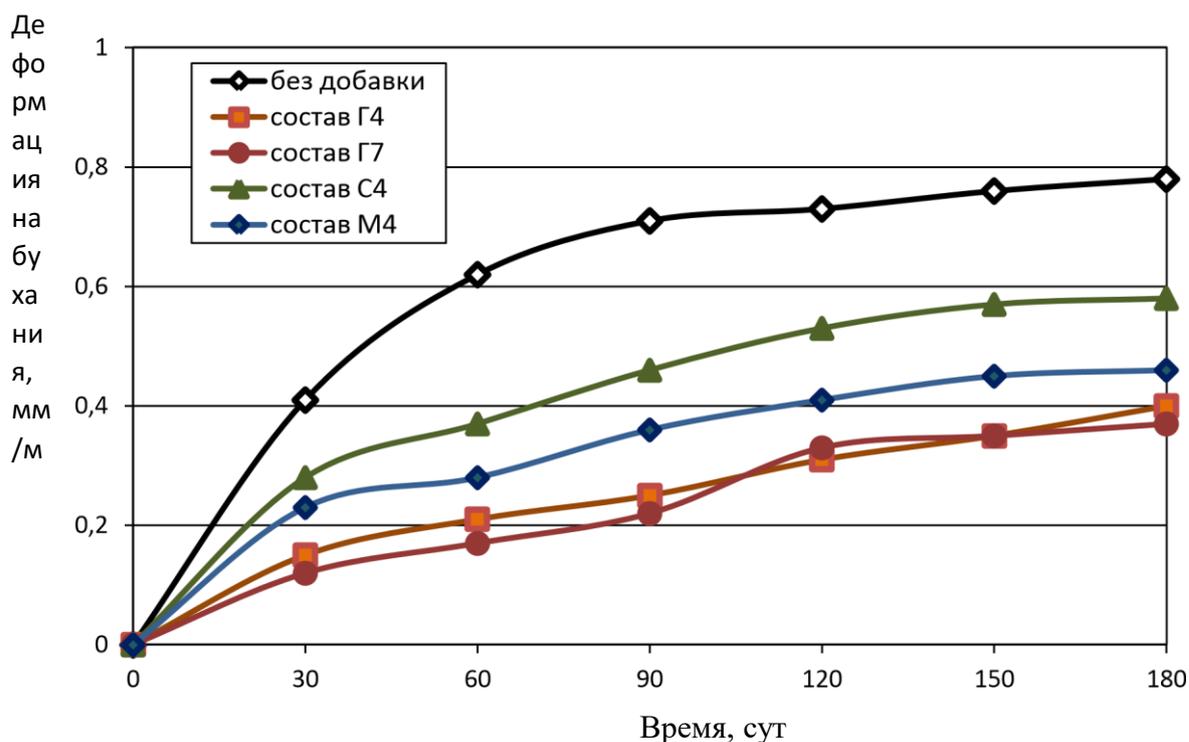


Рисунок 3.12 – Влияние вида комплексных добавок на кинетику набухания мелкозернистого бетона в растворе сульфата натрия

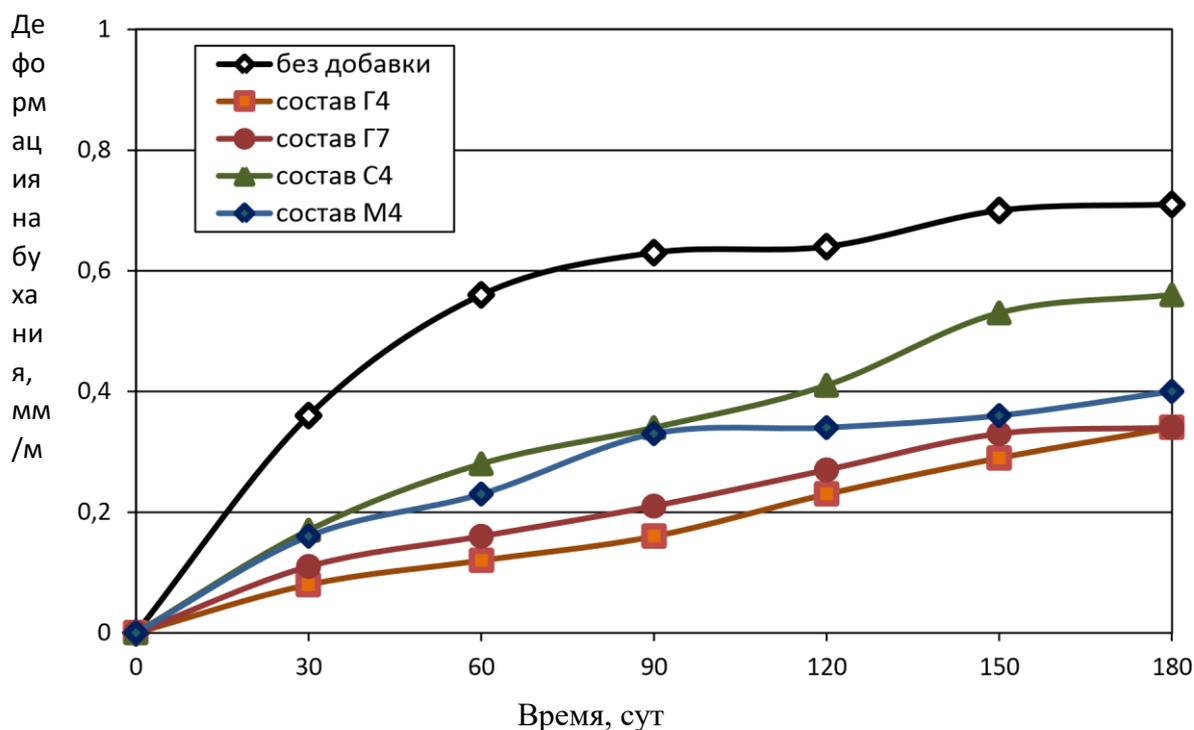


Рисунок 3.13 – Влияние вида комплексных добавок на кинетику набухания мелкозернистого бетона в растворе сульфата магния

Разрушение образцов происходит в результате растрескивания с последующим отделением фрагментов бездобавочного бетона (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14 – Образцы бездобавочного бетона после 150 сут испытаний на стойкость к воздействию сульфатной агрессии

Мелкозернистый бетон с добавкой С4 характеризуется стойкостью к сульфатной агрессии в течение 120 сут испытаний, снижением деформаций набухания в 1,25 - 1,34 раза по сравнению с бездобавочным бетоном (рисунок 3.15).



Рисунок 3.15 – Образцы бетона состава С4 после 150 сут (1) и 180 сут (2)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ

Лист

62

испытаний на сульфатостойкость

Модификация мелкозернистого бетона добавками М4, Г4 и Г7 обеспечила удовлетворительную стойкость образцов в течение всего периода испытаний (рисунок 3.16). При этом наибольшие значения коэффициента сульфатостойкости достигнуты при использовании комплексной добавки Г7 (рисунок 3.17).

Деформации набухания модифицированных составов с добавками М4, Г4 и Г7 уменьшились в среднем в 2,1 раза по сравнению с бездобавочным бетоном.



Рисунок 3.16 – Образцы бетона состава Г4 (1), М4(2) и без добавок (3, 4 и 5) после 150 сут пребывания в растворе сульфата натрия

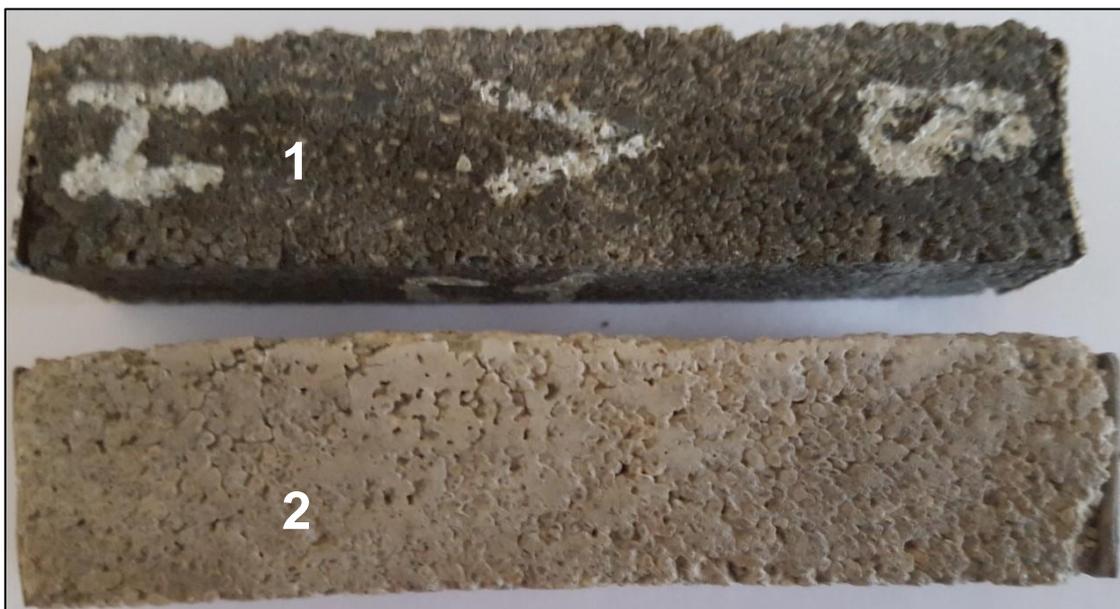


Рисунок 3.17 – Образцы бетона состава Г7 после 180 сут пребывания в воде (1) и в растворе сульфата натрия (2)

Характер разрушения образцов в растворе сульфата магния, как правило, отличается преобладанием трещин, вызванных появлением новообразований с большим объемом по сравнению с объемом исходных соединений (рисунок 3.18).



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ

Рисунок 3.18 – Образцы бетона состава С4 после 180 сут пребывания в растворе сульфата натрия (1) и в растворе сульфата магния (2)

Сравнительный анализ результатов испытания на сульфатостойкость мелкозернистого бетона с комплексными добавками свидетельствует о преимуществе бетона, модифицированного комплексной добавкой – Г7 (1% добавки «Гипер Пласт 180» + 10% золы-унос + 0,07% добавки «Аэропласт»).

Эффект повышения стойкости модифицированного бетона к сульфатной агрессии является совокупным результатом физико-химических изменений в бетоне: уплотнением структуры цементного камня за счет снижения водосодержания бетонной смеси добавкой пластифицирующего действия; пуццоланизацией цемента посредством введения активированной золы-унос; направленным формированием мелких замкнутых пор, служащих резервом для размещения экспансивных новообразований сульфатной коррозии, при введении воздухововлекающей добавки.

## ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ

Разработаны органоминеральные комплексы, содержащие добавки пластифицирующего и воздухововлекающего действия, активированный пуццолановый микронаполнитель. Составы органоминеральных комплексных добавок определены на основе исследований свойств цементного теста и цементного камня, твердения и прочности мелкозернистого бетона.

В результате исследования влияния разработанных комплексных добавок на морозостойкость мелкозернистого бетона установлена предпочтительность использования органоминерального комплекса, содержащего 1% пластифицирующей добавки «Гипер Пласт 180», 10% активированной золы-унос и 0,04% воздухововлекающей добавки «Аэропласт». Введение органоминеральной комплексной добавки позволяет повысить стойкость мелкозер-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

нистого бетона к морозному разрушению от 100 до 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Исследования влияния разработанных комплексных добавок на стойкость мелкозернистого бетона в условиях сульфатной агрессии выявили преимущества бетона, модифицированного органоминеральным комплексом, состоящим из 1% пластифицирующей добавки «Гипер Пласт 180», 10% активированной золы-унос и 0,04 – 0,07% воздухововлекающей добавки «Аэропласт». Коэффициент сульфатостойкости модифицированного бетона почти в 1,5 раза превосходит аналогичный показатель бездобавочного бетона.

Анализ обобщенных результатов испытаний мелкозернистого бетона свидетельствует об эффективности органоминерального комплекса "1% пластифицирующей добавки «Гипер Пласт 180» + 10% активированной золы-унос + 0,04% воздухововлекающей добавки «Аэропласт>", который обеспечивает повышение долговечности модифицированного бетона в условиях морозной и сульфатной агрессии. Эффективность органоминерального комплекса достигнута оптимизацией сочетания компонентов, регулирующих структуру бетона.

#### 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Таблица 4.1 – Составы экспериментальных бетонных смесей на 1 м<sup>3</sup>

№ состава	Портландцемент, кг	Песок кварцевый, кг.	Зола уноса, кг	Вода, л.	«Master Rheobuild 1000», кг	«Sika Plast - 520», кг.	«Гипер Пласт 180», кг.	Аэропласт, кг.
0	474,00	1660	-	176	-	-	-	-
1	421,70	1660	47,4	176	-	-	4,74	0,2
2	421,55	1660	47,4	176	-	-	4,74	0,35
3	421,70	1660	47,4	176	-	4,74	-	0,2
4	421,70	1660	47,4	176	4,74	-	-	0,2

Таблица 4.2 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №0

Материалы:	Количество	Цена	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	474 кг	6 руб/кг	2844
Песок кварцевый крупный	1660 кг	0,5 руб/кг	880
Зола уноса	-	0,5 руб/кг	-
Вода техническая	176 л	0,2 руб/л	35,2
ИТОГО:			3759,2

Таблица 4.2 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №1

Материалы:	Количество	Цена	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	421,7 кг	6 руб/кг	2530,2
Песок кварцевый крупный	1660 кг	0,5 руб/кг	880
Зола уноса	47,4 кг	0,5 руб/кг	23,7
Вода техническая	176 л	0,2 руб/л	35,2
Суперпластификатор «Гипер Пласт 180»	4,74 кг	185 руб/кг	876,9
Воздухововлекающая добавка «Аэропласт»	0,2 кг	74 руб/кг	14,8
ИТОГО:			4360,8

Таблица 4.3 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №2

Материалы:	Количество	Цена	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	421,55 кг	6 руб/кг	2529,3
Песок кварцевый крупный	1660 кг	0,5 руб/кг	880
Зола уноса	47,4 кг	0,5 руб/кг	23,7
Вода техническая	176 л	0,2 руб/л	35,2
Суперпластификатор «Гипер Пласт 180»	4,74 кг	185 руб/кг	876,9
Воздухововлекающая добавка «Аэропласт»	0,35 кг	74 руб/кг	25,9
ИТОГО:			4371

Таблица 4.4 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №3

Материалы:	Количество	Цена	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	421,7 кг	6 руб/кг	2530,2
Песок кварцевый крупный	1660 кг	0,5 руб/кг	880
Зола уноса	47,4 кг	0,5 руб/кг	23,7
Вода техническая	176 л	0,2 руб/л	35,2
Суперпластификатор «Sika Plast-520»	4,74 кг	185 руб/кг	876,9
Воздухововлекающая добавка «Аэропласт»	0,2 кг	74 руб/кг	14,8
ИТОГО:			4360,8

Таблица 4.5 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №4

Материалы:	Количество	Цена	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	421,7 кг	6 руб/кг	2530,2
Песок кварцевый крупный	1660 кг	0,5 руб/кг	880
Зола уноса	47,4 кг	0,5 руб/кг	23,7
Вода техническая	176 л	0,2 руб/л	35,2
Суперпластификатор «Master Rheobuild 1000»	4,74 кг	159 руб/кг	331,8
Воздухововлекающая добавка «Аэропласт»	0,2 кг	74 руб/кг	14,8
ИТОГО:			4237,6

Сырьевые затраты на экспериментальные бетонные смеси, выше чем бездобавочная смесь от 12,7 до 16%. При этом морозостойкость повысилась на 35%, а сульфатостойкость на 50%.

## 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.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

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, создание 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

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

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 5.1 представлена структура документации по охране труда.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70



Рисунок 5.1 – 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.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ

Лист

71

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 5.1

Таблица 5.1 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в производственных помещениях [78]

Период года	Категория работ	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая, не более	оптимальная, не более	допустимая
холодный	Средней тяжести Па	18-20	15-23	40-60	75	0,2	Не более 0,3
теплый	Средней тяжести Па	21-23	17-27	40-60	65 (при 26 °С)	0,3	0,2-0,4

Производство комплексного модификатора 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].

#### 5.1.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны

При производстве мелкозернистого бетона 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.

### 5.1.3 Освещение рабочей зоны

Нормирование производственного освещения ведется по СНиП 23-05-95\*(СП52.13330.20011) «Естественное и искусственное освещение» [79]. На предприятии по производству мелкозернистого бетона 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].

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		73

#### 5.1.4 Шум на рабочем месте

На производстве комплексной 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].

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

## 5.2 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 инструк-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

тажа 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].

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

### 5.3 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» [16].

### 5.4 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.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

Общие требования к пожарной безопасности должны соответствовать ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменениями №1)» [16].

Предприятие по производству сухих смесей относится к категории «Д» по пожароопасности и должно быть обязательно оснащено системой пожарной сигнализации, пожарными гидрантами, а также первичными средствами защиты от пожара. Кроме того, все работники в обязательном порядке проходят 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 отхо-

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78

дов 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 [16]. 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 разрабатывались экспериментальные мелкозернистые бетоны компонентами которых являлись активные минеральные добавки: зола-унос Троицкой ГРЭС, а также кварцевый песок Вольского производства.

Троицкая ГРЭС является филиалом ОАО «ОГК-2», а также одной из крупнейших тепловых электростанций России, которая производит 29 % от общепроизводимой электроэнергии Челябинской области. Основным и резервным топливом является уголь, что делает компанию независимой от ограничений поставок газа. Растопочным топливом является мазут. Зола уноса Троицкой ГРЭС является одной из лучших в России, так как содержит очень мало недожога и железа, а форма частиц сферическая. Для хранения отходов ГРЭС используются золоотвалы. Золоотвалы представляют собой сложные инженерно-технические сооружения, устраиваемые на естественных основаниях и ограниченные дамбами. В Челябинской области проблема утилизации

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

отходов Троицкой ГРЭС является очень актуальной. На сегодняшний день только 10 % золошлакового сырья ГРЭС утилизируются разными отраслями строительства и промышленности. Большая часть отходов остается в золоотвалах, а учитывая возрастание потребности в электроэнергии можно сделать вывод, что площадь золоотвалов только увеличится.

Механизм воздействия золошлакоотвалов на окружающую среду представлен на рисунке 6.1.

Отходы, скопившиеся в золошлаковых отвалах, загрязняют и истощают почву, аэрогенный вынос золошлакового 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.

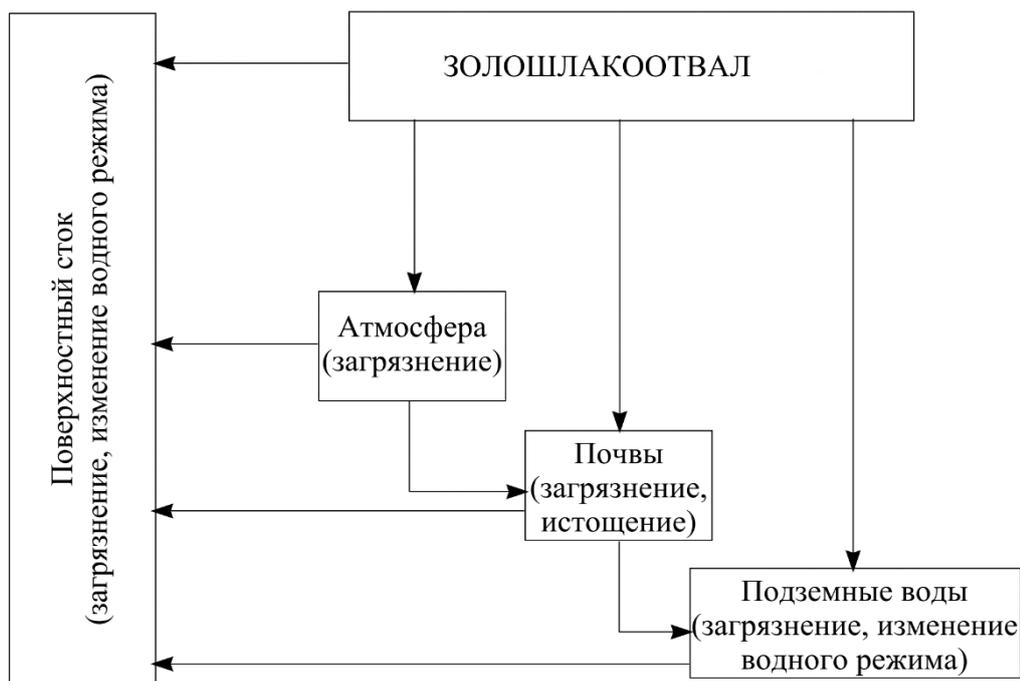


Рисунок 6.1 - Механизм воздействия золошлакоотвалов на окружающую среду

Сегодня золоотвал предприятия Троицкая ГРЭС занимает 1800 га сельскохозяйственных угодий. Разработанные мелкозернистые бетоны (МЗБ) рассчитаны на применение в городе Челябинске, суммарная производительность бетонного узла составляет 50 м<sup>3</sup>/ч бетонной смеси.

Зная производительность бетонного узла, плановый фонд рабочего времени предприятия, а также расход золы-уноса на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси можно рассчитать экологический эффект применения золы-уноса для производства мелкозернистого бетона. Экологический эффект будет определяться по формуле:

$$Эф = \Sigma (П \cdot Т \cdot \max P) / (\rho_{АМД} \cdot Н), \quad (6.1)$$

где П – Суммарная производительность БУ = 50 м<sup>3</sup>/ч,

Т – Плановый фонд рабочего времени предприятия = 4528 ч,

max P:

– Максимальный расход зола-унос = 47,4 кг/м<sup>3</sup>;

– Истинная плотность зола-унос = 1985 кг/ м<sup>3</sup>;

Н – средняя высота золоотвала, 3 м.

$$Эф = \Sigma (П \cdot Т \cdot \max P) / (\rho_{АМД} \cdot Н) = (300 \cdot 4528 \cdot 47,4) / (1985 \cdot 3) = 1800 \text{ га в год.}$$

При этом полигон в течении года пополняется на площади 1000 га, то есть высвобождается 800 га земель.

В среднем в УрФО аренда 1 га земли для организации полигонов хранения отходов промышленности составляет 400 тыс. рублей.

Исходя из этого можно подсчитать, что экологический эффект в денежном выражении имеет вид:

$$Эф' = 800 \cdot 400 \text{ 000 руб.} = 320 \text{ 000 000 руб.}$$

Кроме прочего положительными эффектами применения комплексного модификатора 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 мелкозернистого бетона (МЗБ) и области его применения.
2. Установлено, что МЗБ обладают низкой трещиностойкостью, непроницаемостью и долговечностью.
3. Установлено, что применение наполнителя (зола-уноса) и суперпластификаторов приводит к значительному увеличению прочности и долговечности МЗБ.
4. Выявлено, что в рассматриваемом диапазоне дозировок суперпластификаторов (СП), наибольшей прочностью будут обладать МЗБ с дозировкой 1 % СП, по отношению к массе цемента.
5. Определено, что введение СП приводит к снижению набухания в сульфатной среде, уплотнению структуры и повышению морозостойкости МЗБ.
6. Установлено, что при дозировках воздухововлекающей добавки Аэропласт в 0,04 % по массе цемента, получаемые МЗБ не теряют прочностных характеристик, при этом снижается водопотребность портландцемента.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

7. Разработаны составы мелкозернистых бетонов (МЗБ) обладающие повышенной, по сравнению с обычными, сульфатной и морозной стойкостью.

8. Выявлено, что себестоимость производства МЗБ, самых эффективных из разработанных составов, сравнима с ценой обычных мелкозернистых бетонов.

9. Определен экологический эффект, за счет снижения площади полигонов промышленных отходов, снижения арендных платежей и последующей рекультивации территорий.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

## 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.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		84

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 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
24. 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.
25. 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.
26. СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве. – М.: Госстрой России, 2001. – 28 с.
27. СНиП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование (с изм. № 1, 2, 3). – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 36 с.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
						85
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

28. СНиП 2.20.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии. Госстрой СССР, Москва, 1986. – 66 с.
29. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции, основные положения – М: МинрегионРоссии, 2012. – 148 с.
30. Алексеев, С. Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах / С. Н. Алексеев, Ф. М. Иванов, С. Модры, П. Шисль - М.: Стройиздат, 1990. – 316 с.
31. Баженов, Ю. М. Технология бетона / Ю. М. Баженов - М.: Изд-во АСВ, 2002. - 500 с.
32. Баженов, Ю. М. Технология бетонных и железобетонных изделий / Ю. М. Баженов. - М.: Высшая школа, 1984. - 672 с.
33. Борщевский, С. В. Лабораторные исследования изменения прочностных характеристик бетона для транспортного и подземного строительства в зависимости от хранения заполнителей // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. - 2005. - №9. – С. 149-153.
34. Влияние добавок-заменителей цемента на реакционную способность заполнителей с щелочами цемента / М. D. A. Thomas // Cement and Concrete Research. - 2011. - №41. - С. 1224-1231.
35. Гузеев, В. А. К вопросу оптимального проектирования железобетонных конструкций для агрессивных сред / В. А. Гузеев, М. Г. Булгакова, Л. Л. Лемыш // Способы повышения коррозионной стойкости бетона и железобетона. - М.: НИИЖБ, 1986. - С. 13-21.
36. Десов, А. Е. Высокопрочные бетоны для предварительно напряженных конструкций / А. Е. Десов, В. М. Москвин, Б. Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 320 с.
37. Калашников, В. И. Основные принципы создания высокопрочных и особовысокопрочных бетонов // Популярное бетоноведение. - 2008. - № 3. - С. 102.

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

38. Модификация цементного бетона комплексными добавками на основе эфиров поликарбоксилата, углеродных нанотрубок и микрокремнезема/ Е.А. Карпова, Э.М. Али Г. Скрипкюнас, Я. Керене и др. // Строительные материалы – 2015. - № 2. – С.40-48.

39. Ли, Ф. М. Химия цемента и бетона / Ли Ф. М. - М.: Стройиздат, 1961. - 240 с.

40. Лукутцова, Н. П. Теоретические и технологические аспекты получения микро- и нанодисперсных добавок на основе шунгитосодержащих пород для бетона: монография / Н. П. Лукутцова, А. А. Пыкин – Брянск: Изд-во БГИТА, 2013. - 231 с.

41. Мещерин, В. Добавки и дополнительные компоненты в современной технологии производства бетона: International Concreteconference. www.iccx.org 9-11, 12, 2008. СПб.

42. Москвин, В. М. Долговечность бетона и теория коррозии / В. М. Москвин // Гидротехническое строительство. - 1985. - №8. - С. 1-5.

43. Москвин, В. М. Коррозия бетона / В. М. Москвин. - М.: Изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1952. - 344 с.

44. Москвин, В. М. Коррозия бетона при действии щелочей цемента на кремнезем заполнителя / В. М. Москвин, Г. С. Рояк. - М.: Изд-во литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. - 210 с.

45. Москвин, В. М. О прогнозировании долговечности железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах / В. М. Москвин, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев // Коррозия бетона и повышение долговечности железобетонных конструкций. - Ростов на Дону. - 1985. - С. 69-73.

46. Мюллер, К., Пальм, С. Рост прочности и долговечность цементов с повышенным содержанием известняка. / Цемент и его применение. – 2013. – № 2. – С. 36–39.

					08.03.01.2020.031.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

47. Наду, М. О. Сульфатостойкости затвердевшего цементного теста / Наду М. // VI Международный конгресс по химии цемента. Т.2. Кн.1. - М.: Стройиздат, 1976. - С. 321-330.

48. Одарич, Д. В. Влияние комплексной добавки ЦМИД-4 на бетонную смесь и бетон // XVIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, с международным участием, посвященной 25-летию со дня образования технического института (филиала) СВФУ. Материалы конференции. Секции 1-3. – 2017. – С. 79-92.

49. Подвальный, А. М. Коррозионное разрушение бетона при циклических воздействиях среды / А. М. Подвальный // Бетон и железобетон. - 1982. - №9. - С. 9-13.

50. Рамачандран, В. С. Добавки в бетон / В. С. Рамачандран - М.: Стройиздат, 1988. - 575 с.

51. Рамачандран, В. С. Наука о бетоне: Физико-химическое бетоноведение / В. С. Рамачандран. - М.: Стройиздат, 1986. - 278 с.

52. Ратц, Е. М., Хряпченкова, И. Н. Анализ эффективности применения химических добавок для тяжелого бетона с целью сокращения сроков производства бетонных работ // Вестник науки и образования Северо-Запада России. - 2015. - №2. – С. 57-65.

53. Рояк, Г. С. Внутренняя коррозия бетона / Г. С. Рояк. - Труды ЦНИИС, Вып. 210. – М.: ЦНИИС, 2002. - 156 с.

54. Сафаров, К. Б. Влияние механоактивированной низкокальциевой золы-уноса на коррозионную стойкость гидротехнических бетонов Рогунской ГЭС / К. Б. Сафаров, В. Ф. Степанова, В. Р. Фаликман // Строительные материалы. - 2017. - №10, - С. 20-24.

55. Сафаров, К. Б. Регулирование реакционной способности заполнителей и повышение сульфатостойкости бетонов путём совместного применения низкокальциевой золы-уноса и высокоактивного метаксаолина / К. Б. Сафаров, В. Ф. Степанова // Строительные материалы. - 2016. - №5, - С. 70-73.

56. Тараканов, О. В., Калашников, В. И. Перспективы применения комплексных добавок в бетонах нового поколения // Известия КазГАСУ. - 2017. - №1 (39). – С. 223-229.

57. Федосов, С. В. Влияние температурных условий на развитие сульфатной коррозии бетона / С. В. Федосов, М. В. Акулова, С. М. Базанов, М. В. Торопова // Теоретические основы строительства: Сборник трудов 11-го Российско-Польского семинара. Варшава. - 2002. - С. 319-329.

58. Федосов, С. В. Сульфатная коррозия бетона / С. В. Федосов, С. М. Базанов – М.: Издательство АСВ, 2003. - 192 с.

59. Хамхоева, З. М. Инновационные технологии в производстве современных видов бетона // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. ЛП междунар. науч.-практ. конф. № 11(47). – Новосибирск: СибАК, - 2015. – С. 188-193.

60. Хуммель, А. О технологии высокопрочного бетона. / Сборник иностранных переводов, 1955. – № 2.

61. Шевцов, Н. Р. Оценка влияния времени и условий хранения компонентов на прочность получаемого бетона / Н. Р. Шевцов, С. В. Борщевский // Известия горного института. – 2003. – № 1. – С. 29–30.

62. Шестоперов, С. В. Сульфатостойкость и содержание алюминатов в цементах / С. В. Шестоперов, Ф. М. Иванов // Бетон и железобетон. - 1963. - №8. - С. 16.

63. Штарк, Й. Долговечность бетона / Й. Штарк, Б. Вихт. - Киев: Оранта, 2004. - 301 с.

64. Bensted, J. Thaumasite - a Deterioration Product of Hardened Cement Structures / J. Bensted // II Cemento. – 1988. - №85. - PP. 3-10.

65. Bensted, J. The standardization of sulphate-resisting cements / J. Bensted // World cement. - 1995. - №8. - PP. 47-53.

66. Monica, J. Hanus, Andrew, T. Harris Nanotechnology innovations for the construction industry // Progress in Materials Science. - 2013. - № 58.- P. 1056.

67. Shehata, M. H. Long-term durability of blended cement against sulfate attack / M.H. Shehata, G. Adhikari, Sh. Radomski // ACI Materials Journal. – 2008. – Vol. 105. - №6. – PP. 594-602.

68. Stanton, T. E. Expansion of concrete through reaction between cement and aggregate / T. E. Stanton // Proceedings of the American Society of Civil Engineers. - 1940. - №66. - PP. 1781-1811.

69. Новый подход к природе прочности бетона. – <http://vasilij-nikishkin.narod.ru/>.

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

					08.03.01.2020.114.00.00.ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		