



## АННОТАЦИЯ

Мухаметьяров Д.Р. «Разработка мелкозернистого бетона повышенной долговечности» – Челябинск: ЮУрГУ, Стр. мат., 2017, с.79, ил.2, фор.2, табл.18.

Библиографический список 62–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 применения добавок в бетонных смесях, представлены основные аспекты безопасности труда и жизнедеятельности.

					<i>08.04.01.2017.261.00.00.ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Мухаметьяров Д.Р.</i>			<i>Разработка мелкозернистого бетона повышенной долговечности</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руковод.</i>		<i>Горбунов С.П.</i>					5	79
<i>Н. Контр.</i>		<i>Черных Т.Н.</i>				<i>ЮУрГУ Кафедра «Строительные материалы и изделия»</i>		
<i>Утверд.</i>		<i>Черных Т.Н.</i>						

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	8
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	10
1.1 Морозостойкость основной фактор долговечности.....	10
1.2 Факторы влияющие на долговечность бетона .....	11
1.3 Гипотезы, определяющие долговечность бетона .....	14
1.4 Влияние среды на защитные свойства бетона .....	14
1.5 Методы повышения долговечности бетона .....	15
1.6 Анализ методов контроля долговечности бетонов с указанием критериев контроля испытания .....	23
1.7 Особенности свойств мелкозернистого бетона .....	24
1.8 Особенности долговечности мелкозернистых бетонов.....	27
1.9 Типы и принципы работы пластификаторов .....	37
ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ .....	47
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	48
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	49
2.1 Методы исследования.....	49
2.1.1 Свойства сырьевых материалов .....	49
2.1.2 Свойства бетонной смеси.....	50
2.1.3 Свойства бетона .....	50
2.2 Характеристика сырьевых материалов.....	51
2.2.1 Цемент.....	51
2.2.2 Мелкий заполнитель.....	52
2.2.8 Добавки пластификаторы .....	54
3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ .....	57
3.1 Обоснование состава бетонной смеси .....	57
3.2 Получение долговечного мелкозернистого бетона.....	57
ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ.....	59
4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	60
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	62

6.1 Нормативные значения факторов рабочей среды .....	64
6.1.1 Микроклимат рабочей зоны.....	64
6.1.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны .....	65
6.1.3 Освещение рабочей зоны .....	66
6.1.4 Шум на рабочем месте .....	67
6.2 Безопасность производственных процессов и оборудования .....	68
6.3 Электробезопасность .....	70
6.4 Пожаробезопасность.....	71
ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	73

## ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей строительства является надежность и долговечность объекта. Достичь этой цели можно с помощью качественных строительных материалов и профессиональной работы строителей. Наиболее прочным и востребованным при возведении любого строительного объекта считается бетон. Для построения тонкостенных конструкций используют особый вид данного материала – высокопрочный мелкозернистый бетон. Отсутствие, в составе раствора щебня и гравия, позволяет использовать его для различных построек. Он применяется для различных наружных и внутренних отелочных работ, постройки гидротехнических конструкций (мостов, пирсов), сооружения межкомнатных перегородок. Популярный для строительных и ремонтных работ в помещениях как с сухим, так и влажным микроклиматом. Чаще всего мелкозернистый бетон применяется в таких местах проживания, где имеется дефицит или отсутствие заполнителей с крупной фракцией (гравий, щебень и т.д.). Это позволяет избежать больших финансовых затрат по доставке традиционных ингредиентов с большим размером. Из подобного сырья делается дорожное полотно, трубы, различные системы водоочистки и другие гидротехнические сооружения. Среди них можно перечислить такие, как купола, своды и оболочки. При этом, несмотря на малую толщину стенки, такие сооружения будут иметь высокую несущую способность, будут легкими и относительно недорогими.

Кроме того, мелкофракционный раствор применяется для зданий с большими пролетами, которые используются для хранения сыпучих материалов или различных жидкостей (бетонные резервуары, сооружения бункерного типа, силосные ямы и т.д.). Также его можно применять для строительства арочных конструкций, которые в последнее время очень востребованы для устройства выставочных комплексов.

Очень актуальным сегодня является использование мелкозернистого бетона для возведения монолитных зданий. Однако для широкомасштабного приме-

ния данного строительного материала следует учесть уровень его экономичности и доступность потребителям.

Основной особенностью мелкозернистого бетона является его однородная консистенция. Так же, как и обычный бетон, данная разновидность строительного материала состоит преимущественно из цементного камня, а также заполнителя, в качестве которого выступает песок. Именно благодаря мелким частичкам заполнителя (около 5 мм), мелкозернистый бетон характеризуется не только повышенной прочностью, но и однородной массой. Кроме того, он отличается пористой структурой, наличием повышенного количества воздушных пор. Подвижность и эластичность структуры и позволяет использовать этот материал для заливки любого вида поверхностей. При условии дополнительного армирования есть возможность сооружения особо прочных монолитных объектов. Универсальный позволяет комбинировать его с другими материалами для получения поле прочной конструкции.

Однородность массы гарантирует строительному данному материалу особую стойкость к негативному влиянию внешней среды, особенно к резким перепадам температуры. Однородная текстура позволяет использовать его даже в труднодоступных местах, создавать заливку конструкций любой сложности. Небольшой размер и плотность зерен исключают возможность появления пустот в данном виде бетона. Соответственно, вышеперечисленные характеристики позволяют применять этот строительный материал для возведения объектов любой сложности, с гарантией надежности и долговечности.

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Морозостойкость основной фактор долговечности

Морозостойкость для многих бетонных и железобетонных конструкции является мерой их долговечности. Исследованию морозостойкости бетонов посвящено большое количество работ как в СССР, так и за рубежом.

В настоящее время нет общепринятой теории морозного разрушения бетона из-за большого количества факторов, влияющих на эту характеристику.

Предложено несколько гипотез, которые, по мнению авторов, раскрывают причины разрушения бетонов при замораживании в водонасыщенном состоянии:

- кристаллизационного давления льда;
- гидравлического давления воды;
- различие в коэффициентах линейного расширения льда и бетона.

Очевидно, что причины, приводящие к разрушению бетона, действуют одновременно и в различных условиях испытания бетона или эксплуатации конструкций, превалирующим будет являться один из них. Нарушение сплошности материала, приводящее к снижению его несущей способности, происходит вследствие накопления в бетоне остаточных деформаций, причина появления которых не всегда очевидна [31].

Очевидно, что основным фактором, определяющим морозостойкость бетона, является его пористость [39,42,55]. Выделяя при этом капиллярную пористость ( $\Pi_k$ ), Горчаков Г.И предложил установленную взаимосвязь между  $\Pi_k$  и морозостойкостью бетона:

$$F = (12 - \Pi_k)^{2.7} \quad (1)$$

Следует понимать, что свойство материала «морозостойкость» и оценкой его количественной характеристики является государственной политикой оценки качества материала и со временем претерпевает изменений.

Однако, как показывают результаты экспериментальных работ [33,42] бетоны с равной  $\Pi_k$  могут иметь различную морозостойкость в зависимости от вида цемента и режима твердения.

Очевидно, что не только открытая пористость, но и параметры условно-замкнутой пористости ( $P_{уз}$ ) определяют поведение бетона при морозной агрессии. Кроме того, состояние структуры цементного камня на момент испытания бетона будет играть важную роль в долговечности материала.

Впервые на состояние структуры цементного камня как фактор, определяющий эксплуатационные характеристики бетона, обратил внимание Шейкин А.Е. Им было показано, что наличие в цементном камне мелкодисперсной фазы, представленной, в основном, гидросиликатами кальция, определяет характер упруго-вязко-пластичных деформаций бетона [53].

Позднее Комоховым П.Г было показано, что преимущество структуры цементного камня с высокой удельной поверхностью состоит в том, что в ней сглаживаются концентрации напряжений по углам трещин за счет пластического течения геля С-S-H. Кроме того, появляется возможность снижения локальных напряжений на границах контакта двух фаз в зоне порового пространства [53]. Вопросам возникновения и стабильности гидратных фаз посвящено ряд работ Волженского А.В. с коллегами (Комохов, и другие). Ими было показано, что старение гелей – это термодинамически неизбежный процесс, вызванный переходом гидросиликатов кальция в стабильное состояние со снижением внутренней энергии системы. Основными результатами протекания подобных процессов для цементных систем являются:

- повышение стабильности гидратных фаз путем увеличения размеров частиц новообразований;
- снижением пластических деформаций цементного камня и бетона;
- увеличение дефектности цементных систем и, как следствие;
- практическим снижением прочности.

## 1.2 Факторы, влияющие на долговечность бетона

На предприятиях строительного комплекса почти не соблюдаются требования нормативов, обеспечивающих долговечность железобетона, а на предприятиях других комплексов антикоррозионная служба бездействует, система оценки



эксплуатационной пригодности строительных конструкций в условиях действующих производств не упорядочена.

Кроме того, в последние годы в строительство активно внедряются нетрадиционные материалы для бетона и железобетона (золы, шлаки, новые виды эффективных вяжущих, химические добавки), новые виды арматурных сталей, существенно влияющих на долговечность конструкций.

Проблемы долговечности особо остро проявились при освоении северных районов. Вечная мерзлота, низкая температура, многократные замораживания и оттаивания конструкций из бетона способствуют быстрому разрушению железобетона как подземных, так и наземных конструкций.

Долговечность бетонных конструкций всегда определяется внутренними и внешними факторами.

Внутренние факторы в свою очередь определяются основными исходными компонентами бетона, цемента и заполнителями.

- Цемент (свободный CaO, MgO);
- Реакционноспособный заполнитель (может быть активным по отношению к  $K_2O+N_2O$ ).

К внешним факторам относятся

- влажность;
- температура;
- загрязненность воздуха и воды;
- химическое воздействие;
- механическое воздействие;
- биологическое воздействие.

Достаточная долговечность достигается с помощью следующих мер

- учет требования долговечности при проектировании строительного сооружения;
- правильный выбор исходных компонентов и состава бетона;
- соблюдение технологии изготовления бетона;
- соответствующий уход за бетоном;

- защита бетона;

Недостаточная долговечность бетона проявляется в следующем:

- эстетические дефекты сооружений;
- трещины в бетоне;
- разрушение (растрескивание) бетона;
- коррозия.

Долговечность невозможно охарактеризовать с помощью одного критерия или показателя. Для каждого случая эксплуатации необходимо определять ряд параметров, которые должны быть соблюдены [62].

Структура бетона, в значительной мере определяющая его свойства, состоит из дисперсного каркаса - носителя прочности материала и порового пространства, от величины и характера которого, в первую очередь, зависит долговечность. Чем выше плотность каркаса, адгезия цементного камня к поверхности заполнителя и чем больше величина этой поверхности, тем прочнее бетон.

Очевидно, что с этих позиций песчаный бетон имеет целый ряд преимуществ по сравнению с бетоном на крупном заполнителе. Уменьшение диаметров поровых капилляров и повышение однородности их распределения, характерное для мелкозернистых бетонов, обуславливает повышенную морозостойкость материала и, в конечном счете, его долговечность. Существенное влияние на поровую структуру песчаных бетонов оказывает образование структурированных оболочек из коллоидной фракции затворенного водой цемента вокруг зерен микро- и макрозаполнителей, причем плотность и прочность этих оболочек убывает от поверхности заполнителя к их периферии.

На поверхности заполнителя водоцементное отношение имеет минимальную величину, а на поверхности структурированной оболочки -максимальную, что связано с образованием в результате химической адсорбции на поверхности частиц заполнителя пленок гидросиликата кальция. Поэтому, чем больше в системе структурированных оболочек и чем ближе расположены они друг к другу, тем прочнее образующаяся структура новообразований. В этой связи становится понятной целесообразность использования в качестве вяжущего тонкоизмельчен-

ной смеси цемента с кварцевым песком, который, имея развитую поверхность, позволяет интенсифицировать процесс структурообразования и, следовательно, ускоряет набор прочности твердеющей бетонной смеси. Той же цели служит сближение частиц формируемой смеси в процессе вибропрессования.

### 1.3 Гипотезы, определяющие долговечность бетона

Долговечностью бетона называется его способность длительно, в предусмотренных проектами пределах, сохранять свои эксплуатационные свойства.

Мелкозернистые бетоны вследствие особенности своей: структуры, как правило, являются менее долговечным материалом, чем равнопрочные и равноподвижные с ними обычные бетоны. Однако, применяя некоторые технологические мероприятия по увеличению плотности и уменьшению пористости цементного камня, можно получить бетоны высокой долговечности. Многие исследователи считают, что высокая однородность мелкозернистых бетонов, пониженные величины «собственных» напряжений, хемосорбционное взаимодействие зерен кварца с цементом и другие факторы при условии обеспечения повышенной плотности цементного камня позволяют получить даже большую долговечность мелкозернистых бетонов, чем обычных.

### 1.4 Влияние среды на защитные свойства бетона

Основой защитного действия цементных бетонов на арматурную сталь является щелочной характер влаги в капиллярно-пористом теле бетона, способствующий сохранению пассивного состояния поверхности стали. Однако бетон находится в постоянном взаимодействии со средой, которая может либо способствовать его упрочнению и уплотнению, либо разрушать его структуру и понижать прочность, либо уменьшать его способность защищать арматуру.

Как показывают опыт и исследования, последнее может быть вызвано несколькими процессами, результатом которых является потеря бетоном способности поддерживать пассивное состояние стали вследствие понижения степени ще-

лочности межфазной жидкости или проникания в нее ионов – стимуляторов коррозии.

Первое обычно является результатом действия на бетон кислых газов и жидкостей, второе – сред, содержащих хлориды. Наиболее распространенным из кислых газов является углекислый газ, среднее содержание которого в атмосфере сельской местности составляет 0,03 %. В атмосфере промышленных районов и в воздухе цехов его концентрация может быть значительно более высокой.

Углекислота активно поглощается пористым телом бетона, так как между фронтом карбонизации и поверхностью бетона создается постоянная разность парциальных давлений углекислого газа, поддерживающая его диффузию. Скорость карбонизации зависит от плотности бетона и его влажности, а также от концентрации углекислоты.

По Пауэрсу [51,52], лишь при относительной влажности воздуха выше 45 % содержание воды в бетоне достаточно для карбонизации. Эти данные подтверждаются Шиделером и Фербеком. Неоднократно установлено, что при влажности воздуха, близкой к полному насыщению, карбонизация плотных бетонов практически прекращается.

Очевидно, наиболее интенсивно процесс карбонизации идет в случае, если пленка влаги на стенках пор в бетоне достаточна, лишь для растворения в ней гидроокиси кальция и углекислоты и не закрывает пор целиком, оставляя свободным доступ последней в виде газа. Капиллярная конденсация в порах геля, способствует дополнительному уплотнению бетонов плотной структуры и препятствует их карбонизации даже при оптимальной для этого процесса относительной влажности (45-70 %). Для газонепроницаемости бетонов особенно важны условия твердения. В воде получают не карбонирующиеся структуры, а при воздушном твердении и пропаривании – легко карбонирующиеся.

### 1.5 Методы повышения долговечности бетона

Для бетона подземных и подводных частей сооружений, которые будут постоянно (находиться в пресных, неагрессивных водах, рекомендуется применять

пуццолановые или шлакопортландцементы. Однако при этом необходимо обеспечить влажные условия выдерживания бетона в течение не менее 28 дней.

Бетонные смеси с высоким водоцементным отношением, особенно смеси с повышенной подвижностью, склонны к водоотделению. Отделяющаяся вода накапливается под стержнями арматуры и под крупными зернами гравия-щебня, а после, ее высыхания там образуются поры или даже воздушные прослойки, повышающие водопроницаемость бетона и понижающие его морозостойкость и долговечность в агрессивных средах.

Установлено экспериментально, что для получения особенно морозостойкого бетона общее содержание воды в смеси не должно превышать 160 л/м<sup>3</sup>.

Для уменьшения количества воды, вводимой в бетонную смесь требуемой подвижности, следует применять поверхностно-активные добавки: сульфитно-спиртовую барду (ССБ), смолу нейтрализованную воздухововлекающую (СНВ), эмульсию кремнийорганической газообразующей жидкости (ГКЖ-94) или другие добавки, снижающие количество воды затворения до 10 %.

Поверхностно-активные добавки улучшают также структуру цементного камня и раствора, делая ее мелкопористой, в результате чего повышается морозостойкость и коррозионная стойкость бетона.

Для получения высокопрочного, плотного и долговечного бетона, кроме рекомендованных выше мер, следует применять высококачественные наполнители.

Допустимо применение плотных и твердых известняков, если они плотны, однородны, морозостойки и не содержат слабых прослоек, мергелей и кремнеземистых реакционноспособных включений.

Исследованиями, проведенными в последнее время, установлено, что отношение температурных коэффициентов линейного расширения цементного раствора и известняково-доломитового заполнителя в бетоне не должно быть более 3.

При большем значении этого отношения бетон будет недостаточно морозостойким, что объясняется быстрым нарушением контактов между заполнителем и раствором и последующим образованием трещин в бетоне. Водопоглощение из-

вестняков-доломитов, применяемых для изготовления щебня и изготовления водонепроницаемого и морозостойкого бетона, не должно превышать 6 %.

Если подвижность смеси по каким-либо причинам необходимо повысить, то следует одновременно увеличить и расход цемента, и расход воды в строгом соответствии с установленным водоцементным соотношением.

Для особенно ответственных тонкостенных элементов, например напорных железобетонных труб, рекомендуется применять классифицированные пески (разделенные на 2-4 фракции) и мелкий щебень, разделенный на еще более мелкие фракции, чем указано выше (например, 3-7, 7-15, 15-30 мм), также дозируемые при изготовлении смеси строго по весу и по рекомендованному составу.

Для повышения долговечности бетона конструкций и сооружений, работающих в агрессивных средах, в том числе и подземных сооружений, следует ограничивать значение водоцементного отношения, принимая его для монолитного бетона не выше 0,4-0,5. Одновременно необходимо выдерживать бетон монолитных элементов во влажных условиях в течение не менее 10-15 дней, а для специальных сооружений и более, до 28 и даже 60 дней. Для сборных железобетонных элементов, предназначенных для работы в агрессивных средах и изготавливаемых в заводских условиях, водоцементное отношение следует принимать в пределах 0,3-0,4 для долговечности бетонов.

Пуццолановые портландцемента и шлакопортландцементы обладают большей водопотребностью для получения бетонной смеси одинаковой подвижности, поэтому необходимо повышать общее количество воды на 6-20 % по сравнению с бетонами на чистоклинкерных цементах [62].

Морозостойкость бетонов, определяющая их долговечность, сама является функцией многих параметров. При этом функциональная зависимость морозостойкости бетонов от многих факторов имеет не линейный или обратный, а экстремальный характер, что значительно усложняет её изучение и прогнозирование.

Как показывают анализ факторов, определяющих морозостойкость бетонов, а также производственный опыт, морозостойкие бетоны можно получить, только

решая задачу в комплексе и последовательно в направлении: состав – структура – свойства.

Во-первых, необходимо обосновано назначить проектную нормативную марку бетона морозостойкости будущей конструкции или сооружения (или их отдельных частей).

Затем, на стадии проектирования состава бетона, необходимо оценить возможно ли на данных составляющих бетонной смеси и имеющемся технологическом оборудовании получить требуемую морозостойкость, и, в случае необходимости, внести требуемые коррективы. Далее необходимо подобрать состав бетона с учётом требований по морозостойкости.

При приготовлении бетонов, особенно высоких марок по морозостойкости, необходимо вводить в состав бетонных смесей специальные добавки или готовить бетон на специальных вяжущих, а также строго контролировать расход составляющих бетона и особенно его водоцементное отношение.

После укладки и качественного уплотнения бетонной смеси выбранного состава, должен быть осуществлён надлежащий уход за твердеющей бетонной смесью, обеспечивающий высокую степень гидратации цемента, и, как следствие, формирование морозостойкой структуры с необходимым объёмом условно замкнутой пористости.

После набора бетоном проектной прочности, необходимо оперативно определить морозостойкость затвердевшего бетона и также, в случае необходимости, внести коррективы в его состав.

Затем, в процессе эксплуатации сооружений, необходимо регулярно оценивать морозостойкость бетона, а также осуществлять уход за ним, в частности, применять периодическое вакуумирование открытых поверхностей бетонных и железобетонных конструкций. Это позволит повысить фактическую морозостойкость уложенного бетона.

Все эти этапы являются сами по себе отдельными факторами, определяющими, в конечном счёте, морозостойкость бетона. Их можно разделить на объективные и субъективные. Такое деление является не формальным, а отражает ре-

альную картину технологического процесса строительства и позволяет находить пути повышения морозостойкости бетонов.

Так на субъективные факторы, к которым относятся: используемые составляющие и применяемое оборудование для приготовления, укладки и уплотнения бетонных смесей; имеющиеся добавки; технология ведения работ; культура производства и другие, в процессе сооружения объектов можно и даже необходимо оказывать влияние и изменять их в нужном направлении.

В то же время на объективные факторы, к которым можно отнести: строительные нормы, рекомендующие назначение проектной марки по морозостойкости; стандарты, определяющие способы и методики определения и контроля морозостойкости и т.п., в процессе строительства практически невозможно оказать какое-либо воздействие. Изменение этих факторов является длительным, кропотливым и многоэтапным процессом, требующим всесторонних длительных исследований, накопления большого опытного и фактического материала, проверенного и испытанного на практике.

Рассмотрим эти факторы. Как сказано выше, к объективным факторам, на которые проектировщики и строители не могут оказывать влияние, относятся нормативные документы, определяющие назначение проектной марки и контроль морозостойкости затвердевшего бетона.

Анализ исполнительной документации показывает, что бетоны многих конструкций, разрушившихся задолго до расчётного срока эксплуатации, фактически имели проектную (часто довольно высокую) морозостойкость. Следовательно, проектная морозостойкость этих бетонов была назначена необоснованно низкой по сравнению с тем числом циклов замораживания, которое пришлось выдержать бетону за годы эксплуатации.

Как показывает анализ нормативных документов, действующих в нашей стране в настоящее время, назначение проектной марки по морозостойкости регламентируется более чем пятнадцатью различными СНиП и ГОСТ. Однако, они во многом противоречат друг другу, а самое главное – не учитывают важные факторы, оказывающие влияние на морозную деструкцию бетонов (число теплосмен



в год, наличие или отсутствие солнечной радиации, самозалечивание бетона и др.). При этом в настоящее время в нормах отсутствует научно обоснованная и проверенная на практике методика назначения проектной марки бетонов по морозостойкости.

Предлагаемая формула проста, имеет ясный физический смысл и легко применима на практике. В ней расчётное число циклов в год принимается в зависимости от наличия солнечной радиации, числа переходов температуры через  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  за год и расположения конструкции. Коэффициент  $D$  зависит от минимальной отрицательной температуры замораживания бетона в районе строительства и изменяется от 1,0 до 8,0 (соответственно для минимальной и максимальной отрицательных температур). Коэффициент  $Z$  учитывает изменение прочности бетона и его самозалечивание в процессе эксплуатации и находится в пределах 0,5...1,0. Величины коэффициентов  $Z$ ,  $D$  и  $N$  принимаются на основании имеющихся статистических данных метеорологических наблюдений в районе сооружения объекта. Например, для условий средней полосы европейской части России нормативная морозостойкость, рассчитанная по предлагаемой формуле, для бетона облицовки опор должна быть не ниже  $F_n = 800$  ( $\Gamma = 50$ ;  $N = 40$ ;  $D = 0,8$ ;  $Z = 0,5$ ), а для тела опор  $F_n = 50$  ( $\Gamma = 50$ ;  $N = 2$ ;  $D = 0,8$ ;  $Z = 0,6$ ).

Как видно, приводимая формула учитывает влияние всех основных факторов на число циклов замораживания и оттаивания, испытываемых бетоном сооружений, и изменение его физико-механических свойств в процессе эксплуатации. Назначение реально обоснованной нормативной морозостойкости позволит повысить срок службы бетонов до проектного срока эксплуатации сооружений и избежать преждевременного разрушения бетона этих сооружений от морозной деструкции.

Определение нормативной морозостойкости по предлагаемой методике показало, что для некоторых элементов и частей бетонных конструкций марка по морозостойкости может быть снижена. Однако для большинства сооружений или их частей она должна быть существенно повышена, по сравнению с той, которая устанавливается по существующим нормам. Мы понимаем, что это вызовет неко-

торое удорожание единицы объёма бетона, но эти затраты несравнимо меньше, чем затраты на текущий и капитальный ремонт и потери от недостаточной долговечности возводимых сооружений.

К объективным факторам относится также определение и контроль морозостойкости затвердевшего бетона. Действующий в настоящее время ГОСТ 10060-95 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» [5] включает два базовых и три ускоренных метода контроля морозостойкости.

Однако этот ГОСТ имеет серьезные недостатки, которые затрудняют получение бетонов с требуемой морозостойкостью при его использовании.

По этому ГОСТу фактически только контролируется, а не определяется фактическая морозостойкость бетона. Это очень существенно, т.к. в случае недостаточной морозостойкости ГОСТ не выявляет, насколько она должна быть повышена. Он также не показывает, насколько завышена фактическая морозостойкость в случае высоких значений прочности бетона после прохождения им требуемых испытаний. Кроме этого ГОСТ 10060-95 [5] не позволяет строителям оперативно контролировать морозостойкость приготавливаемого бетона и, в случае необходимости, вносить соответствующие коррективы в его состав для избежания получения брака.

Для оперативного контроля за морозостойкостью и исключения появления некачественного бетона в ГОСТ по определению морозостойкости должен быть включен физически обоснованный ускоренный метод определения морозостойкости. В качестве такого метода может быть использован ускоренный способ определения морозостойкости по критерию  $K_{мрз} = P_{уз} / 0,09P_{и}$  (здесь  $P_{уз}$  и  $P_{и}$ , соответственно, условно замкнутая и открытая пористости бетона). С помощью этого критерия по параметрам строения порового пространства бетона можно оперативно определить морозостойкость затвердевшего бетона. Кроме этого метода, нами разработан количественный метод определения напряжений, возникающих в различных сечениях бетонных конструкций при прохождении циклов попеременного замораживания и оттаивания [43].

На первую группу факторов – субъективные, в процессе проектирования технологии ведения строительных работ и в процессе сооружения конструкций можно оказывать необходимое воздействие.

Для получения морозостойких бетонов необходимо создание такой их поровой структуры, в которой содержится необходимый объём условно замкнутых пор при минимальном объёме открытых пор. Такую структуру можно получить путём, во-первых, правильного подбора состава бетона и, во-вторых, введением в состав бетона специальных комплексных добавок, обладающих полифункциональным действием. Разработаны составы таких комплексных добавок и вяжущего, позволяющие не только получать высоко морозостойкие бетоны, но и обеспечить их твердение при отрицательной температуре без обогрева. Это является весьма существенным, т.к. бетоны, подвергающиеся в процессе эксплуатации попеременному замораживанию и оттаиванию, часто укладываются в зимнее время при температуре ниже 0 °С.

Кроме этого, для создания морозостойкой структуры бетона необходимо обеспечить высокую степень гидратации цемента  $\alpha$  при одновременно низких значениях величины водоцементного отношения В/Ц. Необходимое соотношение между  $\alpha$  и В/Ц при нормативной марке по морозостойкости  $F_n$  можно определить по зависимости

Определив величину В/Ц, полученную при подборе состава бетона, подбирают такое технологическое оборудование и способ ведения работ, которые обеспечат необходимую величину степени гидратации.

При этом технология ведения работ должна обеспечивать максимальное уплотнение бетонной смеси для получения необходимой структуры затвердевшего бетона с запроектированными величинами условно замкнутой и открытой пористости.

Осуществляя все перечисленные этапы цепочки: состав – структура – свойства, можно получать бетоны заданной высокой морозостойкости, что подтверждают результаты успешного использования описанной технологии при строительстве и реконструкции большого числа различных сооружений.

Опыт применения такого комплексного подхода для получения долговечных бетонов показывает, что бетоны, выполненные по вышеописанной технологии, эксплуатируются без видимых следов морозной деструкции в течение 24 лет, а их прочность превышает проектную [64].

#### 1.6 Анализ методов контроля долговечности бетонов с указанием критериев контроля испытания

Контроль и оценку качества высокопрочного бетона следует проводить в соответствии с требованиями стандартов и специально разработанных технологических регламентов, и проектов производства бетонных работ (далее – ППР), утвержденных в установленном порядке производителями работ, как при производстве бетонных смесей, так и в процессе возведения и приемки монолитных конструкций.

При возведении монолитных конструкций контроль качества высокопрочного бетона проводят на строительной площадке комплексным применением следующих методов испытаний и видов контроля:

- контроль косвенных показателей качества бетона по удобоукладываемости, средней плотности и другим дополнительным технологическим показателям качества бетонных смесей;
- контроль прямых показателей качества бетона по прочности в конструкциях, определенной неразрушающими методами или по образцам, отобранным из конструкций, по прочности в группе конструкций по контрольным образцам, по морозостойкости и водонепроницаемости бетона конструкций по контрольным образцам и другим нормируемым показателям качества бетона по соответствующим нормативным документам на эти виды испытаний [9].

Определение прочности бетона может производиться стандартными методами [10] путем изготовления и испытания образцов, однако достоверность контроля его прочности и однородности по стандартным образцам является недостаточной в силу ряда причин. Этими причинами могут быть: объем испытания стандартных образцов не превышает 0,01 % уложенного в конструкцию бетона,

условия виброформования и режимы твердения образцов и конструкций различны, стандартными методами невозможно определить однородность бетона в изделии и прочность отдельных его участков.

Неразрушающий контроль отпускной и передаточной прочности бетона позволяет оперативно влиять на технологический процесс производства железобетонных изделий, своевременно корректировать состав, режимы виброуплотнения и термообработки бетона. Для неразрушающего контроля прочности бетона используются приборы, основанные на методах местных разрушений (отрыв со скалыванием, скалывание ребра, отрыв стальных дисков), ударного воздействия на бетон (ударный импульс, упругий отскок, пластическая деформация) и ультразвукового прозвучивания.

### 1.7 Особенности свойств мелкозернистого бетона

Для изготовления тонкостенных железобетонных конструкций применяют мелкозернистый бетон, не содержащий щебня. Армируя этот бетон ткаными сетками, получают армоцемент – высокопрочный материал для тонкостенных конструкций. Мелкозернистый бетон можно также использовать для изготовления железобетонных конструкций в районах, где отсутствуют щебень и гравийно-песчаная смесь.

Свойства мелкозернистого бетона определяются теми же факторами, что и обычного бетона.

Однако мелкозернистый цементно-песчаный бетон имеет некоторые особенности, обусловленные его структурой, для которой характерны большая однородность и мелкозернистость, высокое содержание цементного камня, отсутствие жесткого каменного скелета, повышенные пористость и удельная поверхность твердой фазы

Зависимости прочности песчаного бетона от его состава.

При  $V/C = 0,3$  зависимость прочности от расхода цемента прямолинейна: уменьшение расхода цемента приводит к резкому понижению прочности бетона, так как при малом содержании цемента смесь становится все менее удобообраба-

тываемой, хуже уплотняется, а ее плотность и соответственно прочность постепенно уменьшаются. Наивысшую прочность показывает в этом случае цементный камень.

При более высоких значениях водоцементного отношения ( $V/C=0,4$  и выше) наивысшая прочность бетона достигается при определенном оптимальном соотношении между цементом и песком. При этом соотношении достигается максимальная плотность бетонной смеси.

При меньших расходах цемента удобообрабатываемость смеси постепенно снижается, что затрудняет ее укладку и приводит к постепенному понижению прочности и плотности бетона

При более высоком содержании цемента возрастает количество избыточной воды в бетоне, соответственно увеличивается пористость и понижается прочность.

Для каждого состава бетона имеется оптимальное значение  $V/C$ , при котором получаются наивысшие прочность и плотности бетона.

Если построить обобщенную зависимость прочности песчаного бетона разного состава от  $V/C$  для оптимальных или средних значений прочности, достигаемых три разных соотношениях между песком и щебнем, то кривые, выражающие эти зависимости, будут иметь более крутой наклон и будут пересекаться с подобными кривыми для обычного бетона при  $V/C$ , близких к  $0,4$ . В случае более низких  $V/C$  при обеспечении хорошего уплотнения можно получить песчаные бетоны с прочностью выше, чем у обычных бетонов на крупном заполнителе. Однако такие бетоны требуют большого расхода цемента и могут применяться только для специальных конструкции при соответствующем технико-экономическом обосновании При более высоких  $V/C$  песчаные бетоны обычно имеют прочность ниже, чем обычные бетоны на прочном крупном заполнителе. Степень понижения прочности зависит от качества применяемых материалов и технологии уплотнения бетонной смеси.

В ряде случаев при приготовлении цементно-песчаной смеси и уплотнении ее обычным вибрированием в нее вовлекается воздух, распределенный в виде

мельчайших пузырьков по всему объему смеси Вовлечение воздуха, которое может достигать 3...6 % и более, повышает пористость бетона и снижает его прочность – воздухововлечение увеличивается с повышением жесткости смеси. Поэтому при необходимости получить плотные и прочные песчаные бетоны следует применять такие методы их уплотнения, которые сводили бы воздухововлечение к минимуму.

Песок обладает большей пустотностью, чем смесь песка и щебня. При невысоком содержании цемента в смесях более тощих, чем 1:3, цементного теста может не хватить для обмазки зерен песка и заполнения всех пустот. В этом случае возникает дополнительный объем пор, обусловленный нехваткой цементного теста, что вызывает увеличение общей пористости бетона и снижение его прочности. Этим обстоятельством объясняется сложность получения достаточно прочных песчаных бетонов при невысоких расходах цемента (200...300 кг/м<sup>3</sup>), характерных для обычного бетона.

В песчаном бетоне применение мелкого песка с повышенными удельной поверхностью и пустотностью приводит к необходимости увеличения расхода воды с целью сохранения заданной подвижности бетонной смеси и заметно снижает прочность бетона, в том числе заметно снижает максимально достижимую прочность бетона для определенного состава. Степень снижения прочности бетона зависит как от качества песка, так и от состава бетона, увеличиваясь с уменьшением расхода цемента.

Если в обычном бетоне замена крупного песка мелким понижает прочность всего на 5... 10 %, то в мелкозернистом бетоне прочность может уменьшиться на 25-30 %, а максимальная прочность песчаного бетона состава 1:2,1:3, которой можно достигнуть при определенной интенсивности уплотнения, иногда снижается в 2... 3 раза. Поэтому для мелкозернистых бетонов желательно использовать крупные чистые пески или обогащать мелкий песок более крупными высевками от дробления камня, мелким гравием.

Состав мелкозернистого бетона и качество песка определяют эффективность использования цемента в бетоне.

Меньшая крупность и повышенная удельная поверхность заполнителя (песка) увеличивают водопотребность бетонной смеси, способствуя воздухововлечению бетонной смеси при вибрировании.

Например, расход воды при составе бетона (Ц:П)

1:3 – 260 л/м<sup>3</sup> Н<sub>2</sub>О, При 1:2 – 300 л/м<sup>3</sup> Н<sub>2</sub>О.

В результате для получения равнопрочного бетона и равноподвижной бетонной смеси в мелкозернистом бетоне на 20...40 % возрастает расход цемента по сравнению с обычным бетоном.

Для снижения расхода цемента применяют химические добавки, дополнительное уплотнение песчаных бетонных смесей, пески с хорошим зерновым составом.

Добавки: суперпластификаторы, СДБ (сульфитно-дрожжевая барда), комплексная добавка (СДБ + ускорители твердения цемента).

Хорошее уплотнение цементно-песчаной смеси достигается прессованием, трамбованием, вибрированием с пригрузом или вибровакуумированием.

Если в обычном бетоне замена крупного песка мелким понижает прочность бетона на 5...10 %, то в мелкозернистом бетоне прочность бетона может уменьшиться на 25...30 %, а максимальная прочность песчаного бетона составов 1:2 – 1:3 иногда снижается в 2-3раза. Следовательно, пески желательно обогащать более крупными высевками от дробления камня или мелким гравием.

### 1.8 Особенности долговечности мелкозернистых бетонов

Долговечность бетона при определенных условиях эксплуатации – одна из его наиболее важных характеристик. Разрушение бетона может произойти при действии мороза, щелочной коррозии заполнителя, карбонизационной усадке, при химическом воздействии агрессивных сред и т. д.

Морозостойкость. Повышение морозостойкости бетона, особенно с помощью воздухововлекающих добавок, справедливо считается одним из самых эффективных способов решения этой актуальной проблемы.



При рассмотрении аспектов, составляющих морозостойкость бетона, важную роль играют структура цементного камня и его контактная зона, на которые удается влиять с помощью добавок.

При методах испытания приняты две скорости замораживания, каждая для оттаивания на воздухе и в воде, а также возможно оттаивание в рассоле. Результаты, получаемые при испытаниях, различны: при замораживании в воде насыщенного водой бетона создаются значительно более тяжелые условия испытаний, чем на воздухе. Быстрое замораживание вызывает более быстрое разрушение. Степень насыщения образцов к началу испытаний увеличивает скорость разрушения.

Разрушения от действия мороза можно определить разными способами. Общепринят метод измерения изменений динамического модуля упругости. Уменьшение его после определенного количества циклов замораживания и оттаивания свидетельствует о разрушении бетона.

Действие мороза может быть установлено также по потере прочности при сжатии и изгибе или по изменению длины или веса образца. Последний способ предпочтительнее, когда разрушения от мороза происходят преимущественно на поверхности образца, но он не пригоден при внутренних повреждениях, где результаты зависят также от размеров образца.

Если испытания должны дать информацию о поведении бетона на практике, условия испытания не должны значительно отличаться от натуральных условий. Трудность заключается в том, что испытания должны быть ускоренными по сравнению с условиями внешней среды, но неизвестно, при какой степени ускорения теряется достоверность результатов испытания. Очевидно, что некоторые ускоренные испытания замораживания и оттаивания приводят к разрушению бетона, который в натуральных условиях имеет удовлетворительную долговечность.

Различие между условиями лабораторных испытаний и реальными условиями заключается в том, что реальные конструкции высыхают во время летних месяцев, а в лаборатории образцы постоянно насыщаются и воздушные поры заполняются водой, что приводит к разрушению бетона. Это ужесточение условий испытания не отражает условий эксплуатации, но способность бетона выдер-

живать определенное число циклов замораживания и оттаивания – вероятный показатель его высокой долговечности в реальных условиях [50].

Воздух, вовлеченный в бетон, при помощи специальных веществ является полезным компонентом. Этот воздух следует отличать от случайно защемленного воздуха. Он отличается по величине образуемых воздушных пор: поры от вовлеченного воздуха имеют размер порядка 0,05 см, а случайно защемленный воздух образует значительные поры, почти такие же, как раковины на поверхности бетона.

Вовлеченный воздух образует замкнутые поры в цементном камне вследствие отсутствия сквозных каналов для пропуска воды. Проницаемость бетона не меняется. Поры не заполняются продуктами гидратации цемента, так как гель может образоваться только в воде.

Основные группы воздухововлекающих добавок:

- животные и растительные жиры и масла и их жирные кислоты;
- природные древесные смолы, которые, реагируя с известью цемента, образуют растворимые соединения. Смолы могут быть предварительно нейтрализованы Na (ОН) с образованием водорастворимого мыла (например, винсол);
- смачивающие вещества, такие, как щелочные соли сульфатов и сульфатов органических соединений (например, дарекс). Существует большое количество фирменных названий воздухововлекающих добавок, но применению их должна предшествовать проверка в бетонной смеси.

Воздухововлекающие добавки обычно образуют устойчивую пену, пузырьки которой не коагулируют. Эта пена не должна оказывать вредного химического действия на цемент. Воздухововлекающие добавки вводятся или в бетонную смесь – непосредственно в бетономешалку или в цемент в определенной пропорции.

Последний способ позволяет ограничено изменять содержание воздуха в смеси, особенно при изменении отношения заполнитель: цемент или при применении различных видов заполнителей. С другой стороны, применение добавок усложняет приготовление бетонной смеси. Добавки составляют 0,005-0,05 % веса

цемента, но для облегчения дозировки они вводятся обычно в виде водных растворов, так что фактическое количество, с которым приходится обращаться, больше.

Необходим строгий контроль за дозированием смеси, так как только при определенном количестве вовлеченного воздуха можно получить долговечный бетон с воздухововлекающими добавками.

Для каждой смеси существует минимальный объем пор, необходимый для обеспечения морозостойкости. Клигер считает, что этот объем составляет 9 % объема растворной части, имея в виду воздух, содержащийся в цементном камне. Контролирующим фактором является расстояние между пузырьками воздуха, т.е. толщина цементного камня между соседними воздушными порами. Расстояние 0,025 см между порами достаточно для гарантии защиты от мороза. Так как общий объем пор в данном объеме бетона определяет прочность бетона, следовательно, воздушные поры должны быть меньшего размера. Их размер в значительной степени определяется процессом пенообразования. На практике поры имеют разные размеры, и их размер обычно определяют удельной поверхностью.

Не следует забывать, что в бетоне всегда есть случайно защемленный воздух независимо от наличия воздухововлекающих добавок, следовательно, имеется два вида пор и удельная поверхность выражает общий объем пор в цементном камне. В хорошо приготовленном бетоне с воздухововлекающими добавками удельная поверхность пор составляет приблизительно от 1000 до 1500 см, но иногда может доходить до 2000 см. Удельная поверхность пор случайно защемленного воздуха составляет менее 760 см. Размер пор колеблется в пределах 0,005-0,13 см. При данном содержании воздуха в бетоне расстояние между воздушными порами зависит от В/Ц бетонной смеси.

Коррозия – процесс разрушения бетона на протяжении длительного времени.

Последствия коррозии бетона влекут за собой снижение прочности конструкций, ухудшение эксплуатационных качеств и, естественно большие материальные затраты.

Защита бетона от коррозии выполняется химическими и полимерными пропитками для бетона, которые обеспечивают стойкость к химической агрессии, механическую защиту бетонной поверхности.

Существует множество факторов и условий, воздействия коррозии на бетон. Выбирая пропитки для бетона необходимо учитывать, в каких средах и при каких условиях (температура, влажность и т.п.) будет эксплуатироваться бетонная поверхность.

Рассмотрим основные виды химической коррозии бетона:

- Кислотная коррозия бетона – следствие воздействия органических и неорганических кислот;
- Сульфатная коррозия бетона – возникает в результате взаимодействия с сульфатами;
- Щелочная коррозия бетона – следствие взаимодействия с щелочами.

Можно отметить два вида агрессивного воздействия среды на бетон.

Первое, это воздействие для жидких сред и второе, для газовых.

Воздействие на бетон водной среды происходит в трёх случаях:

- Вымывание мягкой водой частиц цементного камня, путём фильтрации воды через бетон;
- Воздействие вод с содержанием химических веществ;
- Накопление в порах бетона малорастворимых солей и их кристаллизация, с последующим разрушением.

Газовая коррозия бетона в основном протекает из-за содержания в воздухе углекислого газа.

Правильно подобранная пропитка для бетона обеспечит долговременную защиту.

Коррозия бетона и железобетона может протекать на протяжении длительного времени, и имеет несколько степеней агрессивности.

Таблица 1 – Допустимая глубина (см) разрушения бетона за 50 лет

Степень агрессивности среды	Конструкции	
	железобетонные	бетонные
Неагрессивная	1	2
Слабоагрессивная	1...2	2...4
Среднеагрессивная	2... 4	4...6
Сильноагрессивная	Более 4	Более 6

Необходима защита бетона от агрессивной среды – покрытие или пропитка, которые могли бы обеспечить эффективную и долговечную эксплуатацию.

Щелочная коррозия заполнителя. Этот вид коррозии особенно опасен при повышенном содержании щелочей в цементе (что становится весьма типичным, поскольку такие способы производства цементов самые экономичные), большом расходе цемента (что требуется для получения высокопрочных бетонов, в частности мелкозернистых) и использовании реакционноспособных заполнителей.

Для этого вида коррозии характерно разрушение в результате расширения бетона при эксплуатации.

Существуют несколько методов определения склонности бетона и его составляющих к щелочной коррозии: петрографический, необходим для характеристики заполнителя; метод, с помощью которого определяют реакцию способность карбонатного сырья, используемого в качестве заполнителя; методы (химические, с целью определения потенциальной реакционной способности, вызванной кремнеземистым заполнителем), а также метод испытания бетонных призм, отражающий поведение бетона.

Щелочи могут содержаться в портландцементе в водорастворимой и нерастворимой формах. Водорастворимые щелочи находятся в пределах 10-60 % общего количества щелочей; они часто попадают в цемент в виде сульфатов, а также с топливом при его производстве.

Нерастворимые формы щелочей могут оказаться в цементе с глинами и некоторыми силикатами. При содержании щелочей до 0,6 % (в расчете на  $\text{Na}_2\text{O}$ ) цемент считается низкощелочным.

Возможны три типа реакций, приводящих к щелочной коррозии заполнителя: кремнеземо-щелочная, карбонатно-щелочная и силикатно-щелочная.

Способы предотвращения щелочной коррозии заключаются в том, что в цемент вводят 20-30 % пуццолана или заменяют часть цемента шлаком. Механизм действия пуццолана недостаточно ясен: предположительно, он связывает щелочи и, возможно, образует нерасширяющиеся известково-щелочно-кремнеземистые комплексы. Однако введение пуццолана неэффективно при карбонатно-щелочных реакциях. Есть данные о том, что объемные расширения удается снизить с помощью литийсодержащих добавок (1 %). Полезны также фосфаты и некоторые другие вещества, включая соли бария. Кроме того, для снижения опасности этого вида коррозии используют смешанные цементы (уменьшение содержания щелочей) и смешанные заполнители (уменьшение реакционноспособных фаз) и т. д.

Самой частой причиной разрушения бетона является карбонизация.

Будучи пористым, бетон хорошо впитывает углекислый газ, кислород и влагу, присутствующие в атмосфере. Способность бетона впитывать не влияет на прочность самой бетонной структуры, но оказывает пагубное воздействие на арматуру, которая при повреждении бетона попадает в кислотную среду и начинает корродировать.

Известь, образующаяся при гидратации цемента, создает в бетоне щелочную среду, с высоким показателем pH (около 12). Стальная арматура выпускается химически пассивной и защищенной от щелочей неактивной пленкой (пассивационным слоем) оксидированного железа, что в некоторой степени защищает арматуру от окисления. В пассивационный слой, покрывающий стальную арматуру в бетоне, проникает углекислый газ. Известь нейтрализуется путем образования карбоната кальция (который снижает показатель pH), что приводит к коррозии стальной арматуры.

Ржавчина, формирующаяся при окислении арматуры, увеличивает ее объем, повышает внутреннее напряжение и приводит к разломам бетона и оголению корродирующей арматуры. Оголенная арматура разрушается еще стремительнее, что приводит к быстрому изнашиванию железобетонной конструкции.

## Водонепроницаемость бетона

Некоторые конструкции по условиям работы должны быть водонепроницаемыми, в других водонепроницаемость препятствует коррозионным процессам, развивающимся при фильтрации воды через толщу бетона.

За показатель водонепроницаемости принимают величину давления воды в атмосферах, при которой образец стандартных размеров (цилиндр диаметром и высотой 15 см) из бетона исследуемого состава в условиях проведения опыта согласно ГОСТ 4800-59 [6] еще видимым образом не пропускает воду.

Водонепроницаемость бетона зависит от количества открытых макропор, вызванных испарением избыточной воды из межзерновых пространств цементного камня, седиментационных полостей, технологических и усадочных трещин в местах контакта цементного камня с заполнителем. Поры геля из-за их малого размера практически водонепроницаемы. Мелкие закрытые поры до определенного их количества в бетоне (3-12 %) не оказывают существенного влияния на водонепроницаемость бетона. Таким образом водонепроницаемость зависит от тех же факторов, что и морозостойкость.

Снижение В/Ц в бетонной смеси, обеспечение более полной гидратации цемента, применение фракционированных заполнителей и соответствующих эффективных уплотняющих средств позволяет получить бетоны высокой водонепроницаемости.

Увеличить водонепроницаемость бетона можно, применяя заполнитель предельной наибольшей крупности, так как при этом уменьшается объем растворной части в бетоне и снижается водопотребность бетонной смеси. Пески желательны речные окатанные. Не следует опасаться повышенного, до 30-40 %, содержания в песке фракции 0,15-0,3, которая, наоборот, полезна, так как служит уплотняющей добавкой в скелете заполнителей. По данным некоторых исследований, водонепроницаемый бетон должен содержать больше песка в смеси заполнителей, нежели обычные бетоны, подбираемые по принципу наибольшей прочности. В связи с этим при подборе составов бетона, значения коэффициентов раздвижки зерен имеют повышенные значения ( $a=1,4-2,0$ ).

О том, что целесообразнее применять для повышения водонепроницаемости – гравий или щебень, нет еще единого мнения, так как щебень обеспечивает повышение прочности контактной зоны с цементным камнем, а гравий позволяет получать хорошо уплотняемые смеси при меньших расходах воды и более низких значениях В/Ц. Бетоны высокой водонепроницаемости получают при применении карбонатного щебня вследствие отсоса седиментационной воды его микропорами и хемосорбционных явлений на границе щебня с цементным камнем.

Применение гидрофильных пластифицирующих добавок увеличивает подвижность бетонных смесей и, следовательно, снижает их водопотребность, что повышает водонепроницаемость бетона.

По данным ряда исследователей, введение в смесь гидрофобных и воздухововлекающих добавок весьма эффективно при малых напорах. Гидрофобизация капилляров при высоконапорном движении воды почти не препятствует ее прохождению через толщу бетона; положительно влияет на водонепроницаемость только пластифицирующее действие этих добавок. Недостаточно эффективны для увеличения водонепроницаемости бетонов и добавки кремнийорганических жидкостей.

Специфическим технологическим мероприятием для повышения водонепроницаемости бетонов является применение различных уплотняющих добавок – микронаполнителей и химических веществ.

В качестве микронаполнителей могут применяться каменная мука, молотые шлаки, золы, пылевидные отходы промышленности, обычный мелкозернистый песок, а также активные минеральные добавки и известь. Введение таких добавок создает в межзерновых полостях бетона как бы микроскелеты, препятствующие возникновению седиментационных и усадочных явлений, развитию фильтрующих пор и каналов. Однако нельзя забывать, что многие микронаполнители снижают морозостойкость бетона.



Применение добавок особенно эффективно для бетонов с пониженным содержанием цемента; при расходах цемента в бетоне свыше 500 кг/м<sup>3</sup> вводить эти добавки уже нецелесообразно.

Водонепроницаемость бетонов можно значительно повысить, применяя специальные расширяющиеся и безусадочные цементы. При использовании обычных цементов водонепроницаемость повышается с повышением их активности, связанным с увеличением количества гидросиликатного геля, заполняющего капилляры в цементном камне. При умеренной фильтрации воды через бетон его водонепроницаемость может повышаться со временем вследствие кольматации (заиливания) пор.

Бетон характеризуется водопоглощением воды (% по массе или объему), которое поглощает бетон за некоторое время при погружении в воду. Величина водопоглощения бетона в значительной степени влияет на морозостойкость бетона. Долговечные бетоны характеризуются величиной водопоглощения не более 5-6 % по массе за 6 ч., а при водопоглощении более 10% разрушение бетона происходит в течение нескольких лет. За 6 ч. величина водопоглощения бетона составляет примерно 0,8-0,9 предельного значения, т.е. предельная величина водопоглощения долговечного бетона не должна превышать 5,6-6,7 %. Согласно СНиП 2.03.11 [13] бетоны нормальной плотности должны иметь водопоглощение по массе 4,7-5,7 %, бетоны повышенной плотности – 4,2-4,7, а бетоны особо плотные – менее 4,2 %.

В бетонах, изготовленных на пористых заполнителях с плотной оболочкой, объем поглощенной воды, как правило, не превышает 30 % общей пористости, в то время как бетоны, изготовленные с применением пористых заполнителей, лишенных оболочки, характеризуются степенью заполнения пор более 40 %. Снижение степени заполнения пор водой способствует повышению стойкости бетона при циклическом замораживании – оттаивании.

## 1.9 Типы и принципы работы пластификаторов

Морозостойкость бетонов с противоморозными добавками являлась предметом научных исследований многих авторов. При этом следует отметить противоречивость экспериментальных данных по возможности использования различных химических веществ – солей электролитов.

Соли электролитов, изменяя ионную силу раствора, обуславливают протекание процессов гидратации минералов цементного клинкера при различных степенях пересыщения поровой жидкости по отношению к основным компонентам минералов вяжущего. Кроме того, наличие в твердеющей цементно системе солей электролитов может способствовать коагуляции гелей гидросиликатов кальция.

Основной причиной, на наш взгляд, различия экспериментов по оценке морозостойкости бетонов с химическими добавками – неучет состояния структуры цементного камня на момент испытания.

Существует множество добавок в бетон, и самые большее распространение среди них нашли пластифицирующие. Это связано с высокой эффективностью данного рода добавок. Они не обладают отрицательным воздействием на бетон и арматуру, широко распространены и при этом стоят недорого.

В производстве железобетонных конструкций одной из основных задач является получение удобоукладываемой смеси при минимальных значениях водоцементного отношения и наименьшим расходом цемента. Так изготовление более дешёвых, но не менее прочных состав – задача любого производства. Решить данную задачу удастся лишь при использовании химических добавок - модификаторов, улучшающих реологические свойства бетонной смеси.

Вводя вместе с водой затворения некоторое количество поверхностно-активных веществ, можно ощутимо понизить влияние поверхностных сил натяжения воды на границе раздела фаз, что позволить воде легче распределится на поверхности твёрдых фаз, за счёт улучшения смачиваемости. Кроме основного действия так же возникает ряд побочных положительных явлений, таких как, снижение вязкости цементного теста в бетонной смеси, пептизация флокул цемента, нейтрализация на поверхности ПАВ разноимённых зарядов.

Так, благодаря снижению вязкости цементного теста, после введения добавок, происходит разжижение бетонной смеси. Сам эффект разжижения смеси называется пластификацией. Данным эффект пользуется для снижения затрат на формование изделий, повышения прочности, плотности бетона при снижении количества воды или цемента, без потери подвижности [33].

Введение в цементно-песчаные смеси добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) приводит к экранированию взаимодействия между цементом и водой и, как следствие, к стабилизации гидратируемых систем. ПАВ ослабляют коагуляционные структуры цементно-водных паст, понижают их прочность, создавая тем самым условия для разрушения и перекомпоновки этих структур, что дает возможность образования максимально плотных систем.

Благодаря сочетанию действия ПАВ и определенных вибрационных воздействий в ходе приготовления и уплотнения бетонных смесей происходит ускорение процессов растворения клинкерных минералов и кристаллообразования, причем в конечном счете образуются структуры с тонкокапиллярной пористостью [29].

#### Механизм действия ПАВ на цементные системы

Объяснение особенностей действия поверхностно-активных добавок на процессы образования цементного камня и его структуры может быть дано на основе изучения процессов схватывания и твердения цементов и отдельных минералов, входящих в его состав [42].

Исследованию процессов схватывания и твердения минеральных вяжущих посвящены многочисленные работы, среди которых российским ученым принадлежит видное место.

В основе современной теории твердения цементов находятся представления, развитые академиком А. А. Байковым.

Согласно теории А. А. Байкова, в начале взаимодействия цементного порошка с водой происходит его быстрое насыщение, вследствие низкой растворимости гидратов клинкерных минералов. После насыщения начинается выделение гидратов в коллоидном, т.е. в высокодисперсном состоянии, причем коллоидные ново-

образования образуются уже не путем конденсации из пересыщенного раствора, а сразу в твердом состоянии.

Коллоидное состояние А. А. Байков рассматривает как промежуточное состояние продуктов гидратации – второй период твердения цементов. Третий период включает в себя процесс кристаллизации коллоидных новообразований через раствор в связи с большей растворимостью мелких частиц новообразований, протекающий с различной скоростью в зависимости от природы новообразований. Наряду с кристаллизацией происходит уплотнение тех продуктов, которые медленно кристаллизуются (гидросиликаты кальция). В конце образуются кристаллические сростки и масса сильно уплотненного геля, что и обуславливает превращение цементного теста в цементный камень.

Для выяснения механизма гидратации минералов цементного клинкера, значительный интерес представляет изучение кинетики гидратации, относительных скоростей взаимодействия с водой отдельных минералов цементного клинкера. Этому вопросу посвящены работы В.Н. Юнга и Ю.М. Бутта, Ф.Л. Глекель, С.В. Шестоперова, Ф.М. Иванова, В.Б. Ратинова и др. [28,34,37,44,59].

Скорость гидратации минералов цементного клинкера неодинакова. Сравнение скоростей гидратации индивидуальных минералов цементного клинкера показывает, что быстрее всех гидратируется  $C_3A$ , затем идут в убывающем порядке скоростей  $C_4AF$ ,  $C_3S$  и  $C_2S$ . По некоторым данным,  $C_3A$  и  $C_4AF$  могут меняться местами.

В цементном клинкере при одновременной гидратации сохраняется тот же порядок скоростей гидратации, но минералы оказывают влияние друг на друга и поэтому картина усложняется.

По данным С. В. Шестоперова, на начальной стадии взаимодействия цемента с водой быстрее всех минералов цементного клинкера гидратируется трехкальциевый алюминат. Это объясняется не только высокой скоростью гидратации  $C_3A$ , но и тем, что поверхностный слой зерен цементного клинкера обогащен трехкальциевым алюминатом. Причиной этого является меньшая механическая прочность алюмината по сравнению с другими минералами цементного клинкера, по-

этому при помоле клинкера диспергирование цемента идет по участкам, содержащим  $C_3A$ , как наиболее слабым участкам. Это приводит к относительно высокому содержанию этого минерала на поверхности частиц цементного клинкера. Поэтому о минералогическом составе клинкера следует судить не по минералогическому составу, рассчитанному на основании валового химического анализа, а по минералогическому составу поверхности частиц, который назван С. В. Шестоперовым «действующим минералогическим составом».

П. А. Ребиндер развил новые взгляды на структурные процессы в твердеющем цементе. В процессе перетирания концентрированной цементной суспензии зерна цемента взаимодействуют с водой не только по их внешней поверхности путем обычного смачивания и образования адсорбционного слоя воды – гидратной оболочки с постепенным проникновением воды вглубь зерна. Адсорбционное физико-химическое взаимодействие воды с цементным зерном далеко не ограничивается его внешней поверхностью. Молекулы воды, а также молекулы и ионы растворенных в ней веществ могут проникать внутрь поверхностных микротрещин – микроскопических и ультрамикроскопических дефектов, всегда имеющих в зернах как полиминеральных, поликристаллических сростках (цементный клинкер), так и в любом индивидуальном кристаллике.

Процесс проникновения адсорбирующихся веществ в поверхностные микротрещины, связан с понижением свободной энергии системы и происходит путем двумерной миграции, т.е. диффузии по твердым поверхностям, покрываемым адсорбирующимся веществом.

Адсорбционные слои раздвигают поверхностные ультра и микротрещины, стремясь покрыть как можно большую площадь вновь образующейся поверхности, и затрудняют обратное смыкание этих микротрещин под действием сил сцепления в твердом теле, так как такое смыкание связано с вытеснением адсорбционного слоя.

Адсорбционному диспергированию аналогично явление, пептизации, т.е. расщепление слабо коагуляционно связанных агрегатов частиц твердой фазы в результате адсорбционного взаимодействия среды и растворенных в ней поверх-

ностно-активных веществ – пептизаторов. Действие пептизаторов сводится к их адсорбции из водной среды и основывается на том, что поверхностная энергия в их присутствии понижается дополнительно по сравнению с ее понижением под действием одной воды.

Адсорбционная пептизация агрегатов может быть усилена введением гидрофильных поверхностно-активных веществ.

В цементных суспензиях, наряду с адсорбционным диспергированием первичных частиц цемента, происходит и их химическое диспергирование, вследствие гидратации составляющих цементного клинкера. Вода, адсорбционно проникая в поверхностные микротрещины цементного зерна, начинает взаимодействовать с минералами цементного клинкера. Происходит химическое связывание воды. Такое связывание воды сопровождается всасыванием новых количеств воды в микротрещину взамен прореагировавшей. Продукты гидратации, образующиеся в поверхностных слоях кристаллической решетки, в микротрещинах вызывают значительное увеличение объема. Когда это увеличение объема не может осуществляться свободно и равномерно, вследствие малого зазора в тупиковых частях микротрещин, оно приводит к возникновению огромных местных напряжений. Эти химические напряжения вызывают химическое диспергирование цементных зерен, которое усиливается адсорбционным понижением прочности зерна.

Таким образом, адсорбционное и химическое, диспергирование взаимно усиливают друг друга, приводя к образованию огромного количества коллоидной фракции.

По способности к самопроизвольному диспергированию в водной среде, основные составляющие цементного клинкера располагаются в следующем порядке: трехкальциевый алюминат, четырехкальциевый алюмоферрит, трехкальциевый силикат и двухкальциевый силикат.

Представления об адсорбционном и химическом диспергировании минеральных вяжущих в процессе их взаимодействия с водной средой, выдвинутые П. А. Ребиндером, помогают вскрыть механизм образования коллоидной фазы.

Все гидрофильные поверхностно-активные вещества являются не только пептизаторами, но и стабилизаторами суспензий, препятствующими коагуляции в них частиц. Адсорбционные слои гидрофильных поверхностно-активных веществ усиливают молекулярную связь твердой поверхности с водной средой, такие вещества увеличивают равновесную толщину гидратной оболочки, особенно по наименее гидрофильным участкам.

Этим и объясняется стабилизирующее действие гидрофильных поверхностно-активных добавок, введение которых препятствует развитию коагуляционной структуры в системе, разжижает ее и увеличивает подвижность частиц относительно друг друга, что приводит к более плотной упаковке частиц и к меньшему водоудержанию системы, как показано на рисунке 1.

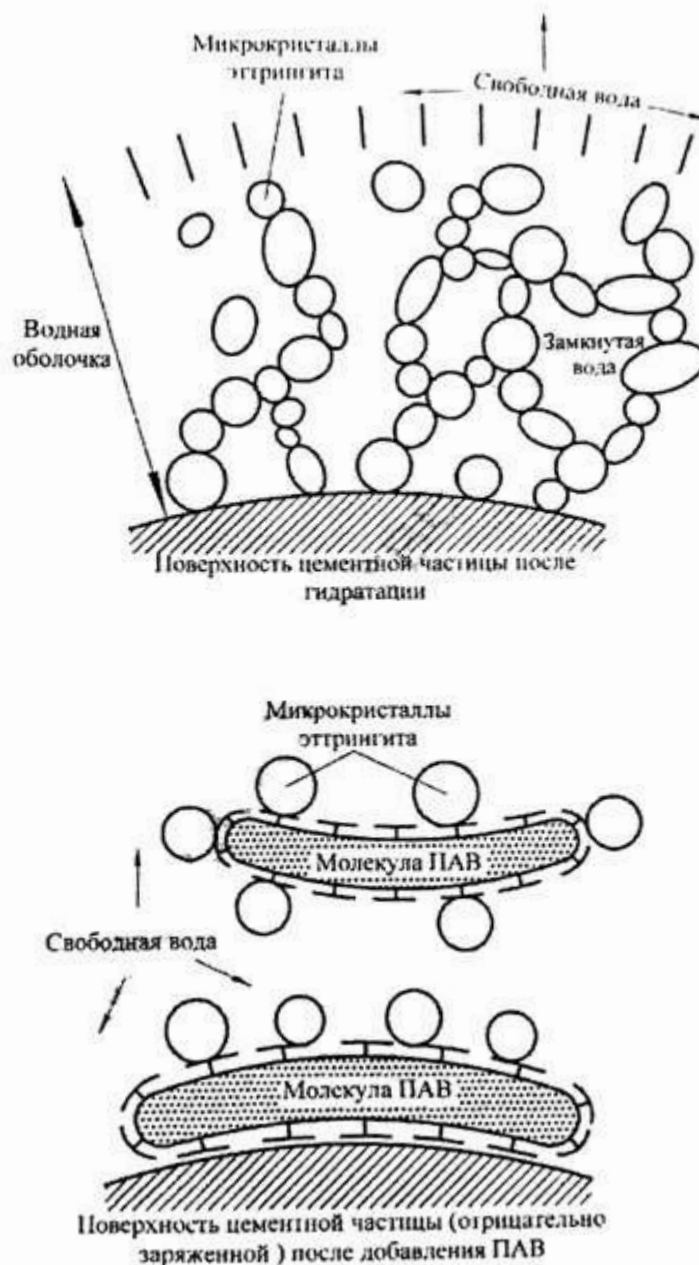


Рисунок 1 – Воздействие ПАВ на цементные частицы

Для исследования структурообразования в концентрированных суспензиях наиболее показательным является изучение упруго-вязко-пластичных свойств структур в процессе их развития.

Сегаловой Е.Е. под руководством академика Ребиндера П.А. были исследованы процессы структурообразования в цементных суспензиях и влияние поверхностно-активных добавок на эти процессы.

Механические свойства водных суспензий цемента и их изменение во времени отражают процессы структурообразования в этих системах.



Пространственные структуры, развивающиеся в суспензиях минеральных вяжущих веществ, могут быть как обратимые – коагуляционные, так и необратимые – кристаллизационные. Коагуляционные структуры возникают в суспензиях при их седиментационном уплотнении, а также в тиксотропных системах, в которых имеется коллоидная фаза. Кристаллизационные – в процессе образования новой фазы. В результате получают твердые системы за счет образования поликристаллических сростков различных размеров и рыхлости.

Первоначально возникающая структура обязательно проходит коллоидное состояние, а затем уже идет рост и срастание отдельных мелких кристалликов, с образованием поликристаллических сростков. В цементных системах идут параллельно коагуляционное и кристаллизационное структурообразование. Коагуляционное идет за счет сцепления отдельных частиц цемента и новообразований друг с другом. Кристаллизационное – за счет прочного связывания кристалликов новообразований друг с другом в процессе их выкристаллизовывания.

Процессы структурообразования в цементных системах в течение первых 3-4 часов после их затворения водой, в основном, определяются алюминатными минералами и прежде всего трехкальциевым алюминатом.

Силикатные минералы, гидратирующиеся значительно медленнее, играют в этот период роль инертных заполнителей.

В первые моменты после начала затворения, цементное тесто представляет собою сравнительно грубодисперсную суспензию, в которой протекают процессы адсорбционного и химического диспергирования, приводящие к накоплению в системе коллоидной фракции. В этих условиях в суспензии образуется коагуляционная структура первичных частиц цемента и возникающих коллоидных новообразований. Пластическая прочность цементного теста на этой стадии очень невелика. Вследствие высокой гидрофильности и легкой диспергируемости алюминатных минералов и образования ими высокодисперсной фракции, в системе быстро образуются сильно пересыщенные растворы гидроалюмината. Это приводит к выкристаллизовыванию гидроалюмината с образованием кристаллизацион-

ной структуры, пронизывающей весь объем суспензии и придающей сравнительно высокую прочность.

При длительном перемешивании цементного теста возникающая кристаллизационная структура гидроалюмината разрушается полностью. Эта структура уже не способна к кристаллизационному алюминатному твердению. В дальнейшем в ней идет развитие кристаллизационной структуры силикатных минералов, т.е. медленное гидросиликатное твердение.

Таким образом, цементная суспензия в процессе перемешивания при затворении может проходить через три стадии:

1 стадия – возникновение коагуляционной структуры частиц цемента и гидратных новообразований (геля). При отсутствии стабилизирующей добавки гидрофильного пластификатора эта стадия, обычно, очень кратковременна.

2 стадия – развитие сплошной рыхлой кристаллизационной структуры гидроалюмината.

3 стадия – механическое разрушение кристаллизационной структуры гидроалюмината и возникновение тиксотропной структуры из микрокристалликов гидроалюмината.

Добавка гидрофильного пластификатора, введенная с водой затворения, оказывает весьма сильное и многообразное влияние на процессы структурообразования в цементной суспензии [37].

На первой стадии - первичной коагуляционной структуры частиц цемента и новообразований – практически всегда преобладает стабилизирующий, пластифицирующий эффект.

Суспензия исходных частиц цемента является достаточно грубодисперсной, а потому уже при очень малых добавках поверхностно-активного вещества, стабилизирующий эффект начинает преобладать над диспергирующим.

Влияние условий твердения (тепловлажностная обработка или нормальное твердения) на структуру поверхности качественно не зависит от типа пластификатора. К сожалению данный метод не позволяет сформировать представления о возможности включения в структуру гидратов молекул пластификатора, что, на

наш взгляд, представляется возможным, и этот вопрос требует поиска дополнительных аппаратных возможностей.

## ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

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

2. На основе литературных данных было обнаружено, что в теле бетона, твердевшего в нормальных условиях, без введения специальных добавок в состав бетона, долговечность в условиях агрессивных сред достаточно невелика.

3. Установлено, что высокая пористость и как следствие высокая водопроницаемость, ограничивают спектр изделий и сооружений в которых можно применять бетоны, в качестве конструкционного материала.

4. Выявлены способы снижения пористости бетона различными способами.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы: Выявить количество дозировки добавок для получения мелкозернистых бетонов, которые будут применяться в производстве жб колец.

Задачи:

1. в соблюдении качества исходных материалов и их нормативных показателей;
2. в грамотном соблюдении всех технических характеристик мелкозернистого бетона;
3. принять во внимание внутренние и внешние факторы воздействия на бетон;
4. опытным путем исследовать взаимодействие различных добавок, влияющих на долговечность бетона без снижения технических характеристик;
5. сравнить свойства и себестоимость бетонов традиционных составов, с бетоном полученном на предложенных модификаторах.

## 2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Тщательное изучение свойств, фазового состава и структуры цементного камня и бетона предполагает комплексный подход к планированию экспериментов и проведению испытаний. В данной научно-исследовательской работе использовались как стандартные методы исследований, изложенные в ГОСТ, так и современные методы физико-химического анализа, такие как электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ.

Для достижения требуемой достоверности при проведении экспериментов по методикам, не регламентирующим количество образцов в серии (к примеру, прочность при сжатии цементного камня), предварительно определяли необходимое число повторов, а также контролировали величину отклонений единичного значения от среднего (точность определения) [9-15].

### 2.1 Методы исследования

#### 2.1.1 Свойства сырьевых материалов

2.1.1.1 Определение нормальной густоты и сроков схватывания цементного теста

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

2.1.1.2 Определение тонкости помола цемента по остатку на сите.

Тонкость помола определялась по остатку на сите, испытание проводилось согласно ГОСТ 310.2-76 [16].

2.1.1.3 Определение загрязняющих примесей в крупном и мелком заполнителях.

Для мелкого заполнителя определение загрязняющих примесей проводилось согласно методике по ГОСТ 8736-93 [17].

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

## 2.1.2 Свойства бетонной смеси

### 2.1.2.1 Определение подвижности бетонной смеси

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

### 2.1.2.2 Определение средней плотности бетонной смеси

Среднюю плотность бетонной смеси определяли отношением массы уплотненной бетонной смеси к ее объему. Определялась согласно ГОСТ 10181 «Смеси бетонные. Методы испытаний» [19].

### 2.1.2.3 Определение расслаиваемости бетонной смеси

Расслаиваемость бетонной смеси оценивали по показателю расщепления. Определялась согласно ГОСТ 10181 «Смеси бетонные. Методы испытаний» [19].

### 2.1.2.4 Определение сохраняемости подвижности

Оценка сохраняемости достигнутой ОК бетонной смеси заключается в получении данных об изменении характеристик в течение некоторого времени. Определялась согласно ГОСТ 10181 и ГОСТ 30459 [19,20].

## 2.1.3 Свойства бетона

Для определения прочности бетонов при сжатии, на растяжение при изгибе, средней плотности водопоглощения по массе, а так показателей трещиностойкости изготавливались образцы-кубики с ребром 7,07 см и образцы призмы квадратного сечения с ребром 4x4x16. Образцы формовались в металлических формах

по ГОСТ 22690 «Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия» [21].

#### 2.1.3.1 Прочность при сжатии

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

#### 2.1.3.2 Средняя плотность бетона

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

#### 2.1.3.3 Водопоглощение

Для определения водопоглощения пользовались методикой, описанной в ГОСТ 12730.3-78 [23].

#### 2.1.3.4 Пористость

Определение пористости проводилось по методике описанной А.Е. Шейкиным «Структура и свойства цементных бетонов» [24] Применялся дискретный метод.

### 2.2 Характеристика сырьевых материалов

#### 2.2.1 Цемент

В качестве вяжущего в работе применялся цемент ЦЕМ II/A-Ш42,5Н по ГОСТ 10178-85, ГОСТ 30515-2013, ГОСТ 31108-2016 [26-28]. Производства ЗАО «Дюккерхоф Коркино цемент». Минералогический состав цементного клинкера представлен в таблице 2.



Таблица 2 – Минералогический состав клинкерной части

C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
59,2...59,4	15,9...16,1	6,22..6,28	11,9...12,1

Химический состав цемента приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав цемента

Содержание основных оксидов составе цемента, % по массе								ППП, %
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O +K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	
21,0	5,59	3,94	64,91	0,79	2,55	2,55	0,023	2,29
...	...	...	...	...	...	...	...	...
21,08	5,60	3,96	64,93	0,81	2,57	2,57	0,025	2,31

Свойства применяемого цемента приведены в таблице 4.

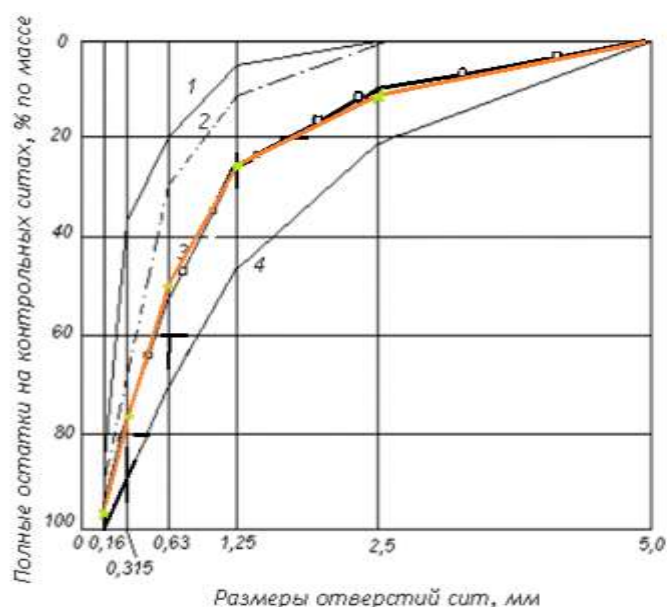
Таблица 4 – Свойства цемента

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 10178;31108 [8, 22]
Нормальная плотность, %	26,4-26,6	–
Начало схватывания	2 ч 00 мин...2 ч 10 мин	Не ранее 60 мин
Конец схватывания	3 ч 20 мин...3 ч 30 мин	Не позднее 10 ч
Остаток на сите №008, %	5,1...5,3	Не более 15
Удельная поверхность	3500...3600 м <sup>2</sup> /кг	–

### 2.2.2 Мелкий заполнитель

Как мелкий заполнитель применялся кварцевый песок Хлеборобского месторождения по ГОСТ 8736[15].

Зерновой состав песка определяется гранулометрическим составом, приведенным в таблице 5. На рисунке 1 представлены также границы крупности песка для различных классов бетона по ГОСТ 26633 [19].



1 – нижняя граница крупности песка; 2 – нижняя граница крупности песка для бетонов класса В15 и выше; 3 – нижняя граница крупности песка для бетонов класса В25 и выше; 4 – верхняя граница крупности песков; 5 – кривая просеивания исследуемого материала.

Рисунок 1 – График зернового состава мелкого заполнителя для бетона

Таблица 5 – Гранулометрический состав песка

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

Модуль крупности песка составил 2,18...2,22, что лежит в пределах 2,0...2,5 для средней группы песка [17].

Свойства песка отображены в таблице 6.

Таблица 6 – Свойства песка

Показатель	Значение	Требования по ГОСТ 8736 [57], соответствующие II классу
Модуль крупности	2,18...2,22	2,0...2,5
Содержание зерен >10 мм, %	0,20...0,24	Не более 5
Содержание зерен 10...5 мм, %	6,4...6,6	Не более 15
Содержание зерен <0,16 мм, %	7,2...7,4	Не более 15
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2275...2315	–
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2450...2550	2000...2800*
Содержание глинистых и пылевидных частиц, %	1,9...2,1	Не более 3
Пустотность, %	7,8...8,2	–

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

\*согласно ГОСТ 26633 Мелкие заполнители должны иметь среднюю плотность зерен от 2000 до 2800 кг/м<sup>3</sup> [19].

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

### 2.2.8 Добавки пластификаторы

Основу суперпластификатора С-3 составляют нитриевые соли продукта конденсации нафталинсульфокислоты и формальдегида.

Суперпластификатор С-3 производится в жидкой и сухой форме: в виде водорастворимого порошка светло-коричневого цвета или водного раствора темно-коричневого цвета, имеющего концентрацию не менее 32 %. При хранении не выделяет вредных газов или паров.

Суперпластификатор С-3 в сухом виде не изменяет своих свойств в интервале температур от +85 °С до -40 °С с последующим полным оттаиванием. Водный раствор суперпластификатора С-3 сохраняет свои свойства при нагревании до 40-45 °С. При нагревании раствора выше указанной температуры, компоненты

добавки подвергаются частичной деструкции, что снижает пластифицирующий эффект. По этой же причине не рекомендуется предварительный разогрев бетонных смесей с химической добавкой С-3.

Добавка С-3 легко смешивается с другими добавками (гидрофобизаторами, ускоряющими, замедляющими, воздухововлекающими), не вступая в химическую реакцию с ними и сохраняя свои свойства.

В процессе эксплуатации ЖБИ суперпластификатор С-3 не оказывает вредного влияния на организм человека. Добавка разрешена для применения в конструкциях, контактирующих с питьевой водой.

Применение суперпластификатора С-3 позволяет:

- увеличить подвижность бетонной смеси от П1 до П5
- снизить водопотребность при затворении вяжущего вещества на 20-28 %
- увеличить конечные прочностные характеристики до 50 %
- регулировать сроки схватывания, изменяя количество вводимой добавки С-3
- в 1,5-1,6 раз увеличить сцепление бетона с закладной арматурой и металлоизделиями с одновременным ингибированием поверхности металла
  - получить «литые» бетоны с повышенной влагонепроницаемостью, трещиностойкостью, морозостойкостью (350 циклов)
  - снизить расход цемента (на 20 %)

Применение: Химическая добавка С-3 применяется в производстве напорных железобетонных труб, сборных конструкций из высокопрочного бетона В20 и выше. Возведение ответственных конструкций монолитных сооружений с повышенной степенью армирования и сложной конфигурацией.

Лигносультфонаты(ЛСТ) – это водорастворимые сульфопроизводные биополимера лигнина. Являются побочным продуктом при сульфитном способе производства целлюлозы. Используются в строительстве на протяжении 80-90 лет. ЛСТ получают гидролизом древесины на целлюлозно-бумажных комбинатах. Полупродукт включает в себя продукты разложения целлюлозы и лигнина, сульфолигнин, сульфаты, различные углеводы и свободные  $H_2SO_4$ . Состав будущего ЛСТ

зависит от ряда факторов и процессов: порода и возраст древесины, нейтрализации, осаждения, ферментизации конечного продукта. Важной особенностью данного ПАВ является высокая физико-химическая активность на границе раздела фаз в дисперсных системах [46]. Изготавливаются согласно ТУ 2455-028-00279580-2004 [16].

При производстве бетона добавки на основе лигносульфонатов относятся к гидрофилизирующим пластификаторам. При их использовании уменьшается расслоение бетонной смеси, снижается расход цемента на 8-10 %, повышается плотность бетонной смеси и замедляется скорость отвердения.

Химическая добавка Glenium 150 является комплексом эфира полкарбоксилата и нитрата кальция. Добавка не опасна для стальной арматуры, т.к. не содержит ионов хлора.

Благодаря водоредуцирующей способности Glenium 150 позволяет получать бетоны с высокими прочностными характеристиками и высокой динамикой набора прочности. При использовании данной добавки можно добиться ряда преимуществ:

- Избавиться от водо- и раствороотделения
- Изготавливать железобетонные изделия без тепло-влажностной обработки.

### 3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

#### 3.1 Обоснование состава бетонной смеси

Мелкозернистый бетон представляет собой смесь цемента, песка и воды, взятых в определенном соотношении согласно ГОСТ 26633-2012[13].

Для испытаний использовался цементно-песчаный раствор состава 1:3 с водоцементным отношением 0,475 с распылом 173 мм. согласно ГОСТ 310.4-81[10].

В качестве вяжущего использовался ЦЕМ II/A – Ш32,5Н ООО «Дюккерхофф Коркино цемент».

В роли пластификаторов выступали: ЛСТ, СП-1 и «Glenium 150».

#### 3.2 Получение долговечного мелкозернистого бетона.

Для испытаний использовался песчаный мелкозернистый раствор состава 1:3 с водоцементным отношением, подобранным таким образом, чтобы раствор соответствовал нормальной консистенции согласно ГОСТ 310.4-81 [10].

Для достижения поставленной задачи, в лабораторных условиях был осуществлен эксперимент. Составы и свойства растворов, полученных на основе этих составов, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Составы и свойства песчаных бетонов

Состав №	Тип добавки	Содержание добавки, %	Стандартная консистенция, %	Рсж. на 1 сутки, МПа	Рсж. на 28 сутки, МПа
1	отсутствует	0	0,268	15,2	33,4
2	ЛСТ	0,05	0,253	14,3	30,6
3	ЛСТ	0,1	0,250	13,2	30,8
4	Glenium 150	0,4	0,243	15,92	36,1
5	Glenium 150	0,8	0,233	17,3	37,6
6	СП-1	0,4	0,223	20,0	34,7
7	СП-1	0,8	0,218	22,0	36,5

Таблица 8 – Составы и свойства песчаных бетонов

Состав №	Тип добав- ки	Содержа- ние добав- ки, %	Стандарт- ная конси- стенция, %	W <sub>M</sub> , %	F <sub>1</sub> , циклы	Марка по водоне- проница- емости, W
1	отсутствует	0	0,268	6,7	75	4
2	ЛСТ	0,05	0,253	6,5	75	4
3	ЛСТ	0,1	0,250	6,4	75	4
4	Glenium 150	0,4	0,243	6,2	75	4
5	Glenium 150	0,8	0,233	6,1	100	6
6	СП-1	0,4	0,223	5,8	150	6
7	СП-1	0,8	0,218	5,8	150	6

Из таблицы 8 видно, что все пластификаторы сработали, снизив В/Ц, однако с другой стороны все добавки, кроме ЛСТ увеличили сроки начала и конца схватывания, что в условиях реального производства вызовет трудности с распалубкой и оборачиваемостью форм. Не смотря на то, что ЛСТ позволило снизить количество воды затворения, данные составы показали меньшие показатели прочности, нежели на бездобавочных образцах.

Итак, как можно заметить по данным таблицы 3, все добавки снизили водоцементное отношение. Однако при этом добавка ЛСТ вызвала снижение прочности на 9 %, по сравнению с бездобавочным составом. Учитывая все полученные данные можно сделать вывод, что применение рассмотренных пластификаторов технологически целесообразно лишь при условии применения каких-либо добавок ускорителей твердения.

## ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ

1. Предлагаемые технические решения являются жизнеспособными, позволяя решать поставленные задачи, повышая параметры долговечности на две и более марки.

2. Выявлено, что увеличение количества добавки суперпластификатора приводит к повышению физико-механических параметров мелкозернистого бетона.

3. Установлено, что из применяемых добавок пластификаторов к наибольшему снижению В/Ц, приводит С-3.

4. Выявлено, что в рассматриваемом диапазоне дозировок СП, наибольшей прочностью будут обладать бетоны с дозировкой 0.8 % СП

5. Определено, что составы с применением С-3 в количестве 0.8 % позволяют получить мелкозернистый бетон с  $W_m$  5,8 и морозостойкостью  $F_{150}$ , что является лучшими показателями среди рассматриваемых составов.

6. Апробация полученных результатов работы прошла в ООО «СП Минитунельстрой» на технологическом оборудовании производства ЖБ элементов колодцев, инженерных сетей и сегментов подземных коммуникаций, прокладываемых бестраншейным способом.

7. Удалось отказаться от использования крупного заполнителя, что существенно облегчило технологическую схему производства готовой продукции, начиная со складской зоны инертных материалов.



## 4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Таблица 9 – Составы экспериментальных бетонов

№ со-става	Цемент, кг	Песок, кг.	Вода, кг.	ЛСТ, кг.	Glenium 150, кг.	С-3, кг.
1	350	1050	93,8	0	0	0
2	350	1050	88,6	0,18	0	0
3	350	1050	87,5	0,35	0	0
4	350	1050	85,1	0	1,4	0
5	350	1050	81,6	0	2,8	0
6	350	1050	78,1	0	0	1,4
7	350	1050	76,3	0	0	2,8

Таблица 10 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №1

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	350 кг	4 руб/кг	1400
Песок	1050 кг	0,3 руб/кг	315
Вода техническая	93,8 л	0,15 руб/л	14,1
ИТОГО:			1729,1

Таблица 11 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №2

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	350 кг	4 руб/кг	1400
Песок	1050 кг	0,3 руб/кг	315
Вода техническая	88,6 л	0,15 руб/л	13,3
ЛСТ	0,18 кг	25 руб/кг	4,5
ИТОГО:			1732,8

Таблица 12 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №3

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	350 кг	4 руб/кг	1400
Песок	1050 кг	0,3 руб/кг	315
Вода техническая	87,5 л	0,15 руб/л	13,1
ЛСТ	0,35 кг	25 руб/кг	9
ИТОГО:			1737,1

Таблица 13 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №4

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	350 кг	4 руб/кг	1400
Песок	1050 кг	0,3 руб/кг	315
Вода техническая	85,1 л	0,15 руб/л	12,8
Glenium 150	1,4 кг	150 руб/кг	210
ИТОГО:			1937,8

Таблица 14 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №5

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	350 кг	4 руб/кг	1400
Песок	1050 кг	0,3 руб/кг	315
Вода техническая	81,6 л	0,15 руб/л	12,2
Glenium 150	2,8 кг	150 руб/кг	420
ИТОГО:			2147,2

Таблица 15 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №6

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	350 кг	4 руб/кг	1400
Песок	1050 кг	0,3 руб/кг	315
Вода техническая	78,1 л	0,15 руб/л	11,7
С-3	1,4 кг	110 руб/кг	154
ИТОГО:			1880,7

Таблица 16 – Расчет затрат на сырьевые материалы для состава №7

Материалы:	Количество	Цена, руб	Стоимость, руб
Цементное вяжущее	350 кг	4 руб/кг	1400
Песок	1050 кг	0,3 руб/кг	315
Вода техническая	76,3 л	0,15 руб/л	11,4
С-3	2,8 кг	110 руб/кг	308
ИТОГО:			2034,4

## 5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

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

Цели предприятия в области охраны труда:

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

Основные задачи предприятия в области охраны труда:

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

- обучение и проверка знаний по охране труда, в том числе, 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 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 2 представлена структура документации по охране труда.



Рисунок 2 – 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.

## 6.1 Нормативные значения факторов рабочей среды

### 6.1.1 Микроклимат рабочей зоны

На микроклимат рабочей зоны оказывают влияние следующие показатели:

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

Действующим нормативным документом, регламентирующим микроклимат производственной среды, является ГОСТ 12.1.005 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [8]. Сегодня заводы по производству сухих строительных смесей являются высоко автоматизированными и механизированными предприятиями и согласно ГОСТ 12.1.005 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 17.

Таблица 17 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в производственных помещениях [8]

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» [19].

### 6.1.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны

При производстве комплексного модификатора 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» [19]. Кроме этого все оборудование, связанное с работой с сухими компонентами, должно быть герметично, должны использоваться системы пылеудаления и очистки, также должна производиться регулярная уборка пыли с использованием средств механизации.

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

### 6.1.3 Освещение рабочей зоны

Нормирование производственного освещения ведется по СНиП 23-05-95\*(СП52.13330.20011) «Естественное и искусственное освещение» [26]. На предприятии по производству комплексной добавки предусмотрено, как и естественное, так и искусственное освещение, для обеспечения равномерного распределения яркости используется комбинированное освещение.

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

Естественное и искусственное освещение на предприятии должно соответствовать нормам, указанным в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному и искусственному освещению жилых и общественных зданий» [27].

#### 6.1.4 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» [11], СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [12].

Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах указаны в таблице 18.



Таблица 18 – Допустимые уровни звукового давления в октавных полосах [12]

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Рабочие зоны в производственных помещениях	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Для борьбы с шумом на предприятии необходимо использовать шумобезопасную технику, средств и методы коллективной защиты по ГОСТ 12.1.029 [11], а также средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051[12].

## 6.2 Безопасность производственных процессов и оборудования

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

Работодатель обязан обеспечить:

- безопасность работников при эксплуатации зданий, сооружений, оборудования, осуществлении технологических процессов, а также применяемых в производстве инструментов, сырья и материалов;
- создание и функционирование системы управления охраной труда;
- применение прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке средств индивидуальной и коллективной защиты работников;
- соответствующие требованиям охраны труда условия труда на каждом рабочем месте;
- режим труда и отдыха работников в соответствии с трудовым законодательством и иными нормативными правовыми актами, содержащими нормы трудового права;

– приобретение и выдачу за счет собственных средств специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты, смывающих и обезвреживающих средств, прошедших обязательную сертификацию или декларирование соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке, в соответствии с установленными нормами работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением;

– обучение безопасным методам и приемам выполнения работ и оказанию первой помощи пострадавшим на производстве, проведение инструктажа по охране труда, стажировки на рабочем месте и проверки знания требований охраны труда;

– недопущение к работе лиц, не прошедших в установленном порядке обучение и инструктаж по охране труда, стажировку и проверку знаний требований охраны труда;

– организацию контроля за состоянием условий труда на рабочих местах, а также за правильностью применения работниками средств индивидуальной и коллективной защиты;

– проведение специальной оценки условий труда в соответствии с законодательством о специальной оценке условий труда.

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

1. К работе допускаются только лица, прошедшие инструктаж по охране труда на рабочем месте, обучение безопасным приемам и методам работы и проверка знаний.

2. Конструкции производственного оборудования должны исключать опасные составляющие. Работник перед началом работы обязан проверить состояние и исправность оборудования.

3. Размеры рабочего места и размещение его элементов должны соответствовать нормативным требованиям.

4. К работе допускается работник в установленных нормативными документами средствах индивидуальной защиты.

5. На территории производственного цеха запрещено находиться посторонним людям без соответствующего разрешения, а также не прошедших инструктаж по технике безопасности [14].

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 [15].

### 6.3 Электробезопасность

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

Безопасная эксплуатация электрических установок, работающих должна соответствовать ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты (с Изменениями №1)» [16]. 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» [18].

## 6.4 Пожаробезопасность

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

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

Предприятие по производству 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.

## ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. На основе литературных данных были выявлены основные характеристики мелкозернистого бетона и области его применения.
2. Установлено, что бездобавочный бетон обладает низкой долговечностью.
3. Предлагаемые технические решения являются жизнеспособными, позволяя решать поставленные задачи, повышая параметры долговечности на две и более марки.
4. Выявлено, что увеличение количества добавки суперпластификатора приводит к повышению физико-механических параметров мелкозернистого бетона.
5. Установлено, что из применяемых добавок пластификаторов к наибольшему снижению В/Ц, приводит С-3.
6. Выявлено, что наибольшей прочностью будут обладать бетоны с дозировкой 0.8 % Glenium 150.
7. Определено, что составы с применением С-3 в количестве 0.8 % позволяют получить мелкозернистый бетон с  $W_m$  5,8 и морозостойкостью  $F_{150}$ , что является лучшими показателями среди рассматриваемых составов.
8. Апробация полученных результатов работы прошла в ООО «СП Минитуннельстрой» на технологическом оборудовании производства ЖБ элементов колодцев, инженерных сетей и сегментов подземных коммуникаций, прокладываемых бестраншейным способом.
9. Удалось отказаться от использования крупного заполнителя, что существенно облегчило технологическую схему производства готовой продукции, начиная со складской зоны инертных материалов.

## 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 12730.1-78 «Бетоны. Методы определения плотности». – М.: Изд-во стандартов, 2007. – 4 с.
5. ГОСТ 17624-2010 «Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности». – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 24 с.
6. ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности». – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 16 с.
7. ГОСТ 18353-79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов». – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 12 с.
8. ГОСТ 22690-88 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля». – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 24 с.
9. ГОСТ 26633-2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия». – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 18 с.
10. ГОСТ 30459-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности». – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 17 с.
11. ГОСТ 30515-2013 «Цементы. Общие технические условия» – М.: Изд-во стандартиформ, 2014. – 62 с.
12. ГОСТ 30744-2001 «Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка». – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 11 с.
13. ГОСТ 310.2-76 «Цементы. Методы определения тонкости помола». – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 3 с.

14. ГОСТ 310.3.-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема».— М.: Изд-во стандартов, 1978. – 78 с.
15. ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия». – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 26 с.
16. ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные. Технические условия». – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 20 с.
17. ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 17 с.
18. ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний». – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 109 с.
19. ГОСТ 8736-93 «Песок для строительных работ. Технические условия». – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 7 с.
20. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 65 с.
21. 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.
22. 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.
23. СНиП 23-05-95\* (СП52.13330.20011). Естественное и искусственное освещение (с изменением №1). – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003 г. – 58 с.
24. СНиП 12-03-2001. Безопасность труда в строительстве.Пункт 7.3. – М.: Госстрой России, 2001. – 28 с.
25. СНиП 2.04.05-91\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование (с изм. № 1, 2, 3). – М: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 36 с.
26. Barrer R. M. 1953. A new approach to gas flow in capillary systems // J. Phys. Chem. – 1953, V. 57. – 35 p.

27. Bryant, M. Durability of Concrete / M. Bryant – Transportation Research Circular – 2013, №E-C171. – P. 36-47.
28. Hansen, W.C. Fine-grained concrete/ W.C. Hansen –Proc.Am. Concr. Inst. – 1944, V.40, №4. – 213 p.
29. Kamran, M. Durability of Concrete/ M. Kamran – Concrete Technology. – 2015, №425. – 18 p.
30. Skalny, J. Pore structure of calcium silicate hydrates / J. Skalny, J. Odler – Cem. and conc. Res. – 2012, V.174, №2. – P. 387-400.
31. Swenson, E.G. Concrete durability/J.E. GillottMag. Concr. Res. – 1967, V. 24, №19. – 95 p.
32. Бабков, В.В.Структурообразование и разрушение цементных бетонов / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов, П.Г. Комохов. – Уфа: ГУП Уфимский полиграфкомбинат, 2002. – 170 с.
33. Баженов, Ю.М. Технология бетонов XXI века / Ю.М. Баженов. – Новые научные направления строительного материаловедения: материалы докладов академических чтений РААСН. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2005. – 507 с.
34. Бугрим, С.Ф. Повышение эффективности нефтегазового строительства в условиях Севера/ С.Ф. Бугрим – М.: Высш. школа., 1994. – С. 88–156.
35. Бутт, Ю.М. Растворы и бетоны / Ю.М.Бутт, М.М. Сычев, Тимашев В.В.– М.: Высшая школа, 1980. – 472 с.
36. Горчаков, Г.И. Состав, структура и свойства цементных бетонов/ Г.И. Горчаков – М.: Стройиздат, 1996. – 144 с.
37. Гурскис В.В. Бетоны стойкие в условиях воздействия солевых растворов при отрицательных температурах: Автореферат. дис. ... к-та техн. наук. – М., 1993. – 21 с.
38. Добшиц, Л.М. Физико-математическое моделирование разрушения бетона при его циклическом замораживании-оттаивании / Л.М. Добшиц, И.Г.Портнов, В.И. Соломатов. – Долговечность и защита конструкций от корро-



зии / Материалы международной конференции. – МКЗДК –99. – М.: 1999. – С. 113–118.

39. Изотова, В.С. Химические добавки для модификации бетона: монография /В.С. Изотова, Ю.А. Соколова. – М.: Палеотип, 2006. – 244 с.

40. Ицкович, С.М. Технология заполнителей бетона: Учеб. Для строит. вузов по спец. «Производство строительных материалов, изделий и конструкций / С.М. Ицкович, Л.Д. Чумаков, Ю.М. Баженов. – М.: Высш. шк., 1991. – 272 с.

41. Киреева, Ю.И. Строительные материалы и изделия. Методическое пособие. / Ю.И. Киреева – Минск.: Дизайн ПРО, 1998. – 62 с.

42. Красовский, П.С. Физико-химические основы формирования структуры цементных бетонов/П.С. Красовский – Хабаровск: ДВГУПС, 2013. – 204 с.

43. Кунцевич, О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера/О.В. Куцевич – Л.: Стройиздат, 1983. – 132 с.

44. Курбатова, И.И. Химия гидратации портландцемента / И.И. Курбатова – М.: Стройиздат, 1977. – 329 с.

45. Львович, К. И.Песчаный бетон и его применение в строительстве/ К. И.Львович – СПб.: СтроЙ-Бетон, 2007. – 320 с.

46. Морозова, Л.В. Исследование способов прогнозирования морозостойкости бетонов с учетом характеристик их строения: Автореферат дисс. ... к-та техн.наук, Днепропетровск, 1982. – 22 с.

47. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Газеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 535 с.

48. Мурадов, Э.Г. Материалы для приготовления бетонной смеси и строительного раствора: Учеб. Пособие для СПТУ / Э.Г. Мурадов – М.: Высш. школа, 1987. – 111 с.

49. Пауэрс, Т. К. Физическая структура портландцементного теста / Т. К. Пауэрс / Химия цемента; под ред. Х. Ф. У. Тейлора; пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1969. – С. 300–819.

50. Пауэрс, Т. Физические свойства цементного теста и камня / Т. Пауэрс / Четвертый Международный конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1964. – С. 402–438.
51. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне: Физико-химическое бетоноведение / Пер. с англ. Т.И. Розенберг, Ю.Б. Ратиновой; под ред. В.Б. Ратинова. – М.: Стройиздат, 1986. – 278 с.
52. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / Ратинов В.Б., Розенберг Т.И. – М.: Стройиздат, 1989. – 188 с.
53. Розенталь Н.К., Любарская Г.В., Чехний Г.В. Цементные бетоны повышенной коррозионной стойкости // Долговечность и защита строительных конструкций от коррозии / Материалы международной конференции. – М.: Стройиздат. – 1999. – с. 196–205.
54. Трофимов, Б.Я. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбонатного пластификатора / Б.Я. Трофимов, С.П. Горбунов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2011. – Вып.10. – № 5. – С. 29– 35.
55. Шейкин, А. Е. Структура и свойства цементных бетонов / А. Е. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979.– 344 с.
56. Штарк, И. Долговечность бетона/ И. Штарк, Б.Вихт. –1-е изд. – СПб: РИА Квинтет, 2004. – 295 с.
57. Строительные материалы: Учебник / под общей ред. В.Г. Микульского. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 536 с.
58. Повышение долговечности бетона. – <http://www.masterovoi.ru/povyshenie-dolgovechnosti-betona/>.
59. Новый подход к природе прочности бетона. – <http://vasilij-nikishkin.narod.ru/>.
60. Прочность бетона. Теории прочности и механизм разрушения. – <http://m350.ru/articles/more/v/id/98/>.
61. Пути повышения долговечности цементных бетонов. – <http://sbcmi.ru/puti-povysheniya-dolgovechnosti-tsementnih-betonov/>.

62. Долговечность бетона. – <http://www.bibliotekar.ru/beton-5/131.htm/>.