

Министерство науки и высшего образования РФ
Южно-Уральский государственный университет (НИУ)
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Строительные материалы и изделия»

ВКР ПРОВЕРЕНА	ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Рецензент	Заведующий кафедрой
/ /	/А.А. Орлов/
« » 2019 г.	« » 2019 г.

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе
08.04.01.2019.00.00.ПЗ
Исследование влияния условий твердения «холодного бетона» на структуру
и сульфатостойкость цементного камня

Руководитель ВКР

/Л.Я. Крамар /
« » 2019 г.

Автор ВКР
Студент группы АС –

/ П.С. Сухарева /
« » 2019 г.

Нормоконтролёр

/А.А. Кирсанова/
« » 2019 г.

Челябинск
2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	9
1.1 Структура бетона	9
1.2 Исследование особенностей гидратации цемента и твердения бетона при различных температурах	16
1.3 Методы зимнего бетонирования	18
1.3.1 Современные противоморозные добавки и их совместимость с другими активаторами и модификаторами	20
1.3.2 Совместимость противоморозных добавок с другими добавками... ..	22
1.3.3 Влияние противоморозных добавок на свойства бетонной смеси и бетона.....	23
1.3.4 Влияние противоморозных добавок на долговечность бетона.....	29
1.4 Стойкость бетона к агрессивным воздействиям окружающей среды. ..	29
1.4.1 Общая характеристика сульфатной коррозии	32
1.5 Морозостойкость бетона.....	34
1.5.1 Факторы, определяющие морозостойкость бетона.....	41
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	47
ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ	48
2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	49
2.1 Характеристики сырьевых материалов	49
2.2 Методы исследования.....	54
2.2.1 Рентгенофазовый анализ (РФА)	55
2.2.2 Термические методы анализа	57
2.2.3 Исследование на сульфатостойкость	59

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		5

2.2.4	Определение пористости.....	60
2.2.5	Исследование на морозостойкость.....	60
3	ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ	63
3.1	Формирование структуры и прочности бетона твердевшего в нормальных условиях после замораживания.....	63
3.2	Исследование влияния противоморозной добавки на сульфатостойкость цементного камня.....	67
3.2.1	Определение коэффициента стойкости исследуемых материалов...	68
3.2.2	Влияние сульфатной среды на фазовый состав цементного камня..	73
3.3	Изучение влияния ПМД на морозостойкость бетонов	76
	ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3	80
4	РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	81
5	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	85
	ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ.....	98
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	99
	ПРИЛОЖЕНИЕ	103

ВВЕДЕНИЕ

Основными строительными материалами в современном строительстве являются бетон и железобетон. Производство этих материалов, особенно в нашей стране предпочтительно осуществляется в заводских условиях и это требует значительных затрат энергии. В последние десятилетия в строительстве стали активно применять монолитное возведение зданий и сооружений не только летом, но и в зимний период. В зимнее время чаще всего применяют различные виды обогрева, чтобы обеспечить твердение бетона и ускорить набор прочности. Однако и такое бетонирование требует значительного расхода энергии. Для проведения бетонирования в зимних условиях без дополнительного расхода энергии в настоящее время введено понятие «холодный бетон», т.е. бетон, получаемый в зимнее время без обогрева с введением специальных противоморозных добавок.

Однако, при низких температурах окружающего воздуха гидратация цемента и твердение бетона значительно отличается от этих процессов, протекающих в «нормальных» условиях, т.е. при плюсовых температурах близких к 20 °С.

При температурах ниже 4 °С бетон не твердеет, так как вода в нем замерзает. Соответственно, крайне важно не допустить замерзания воды, находящейся внутри бетонной смеси, так как замерзание бетона в раннем возрасте и понижение температуры окружающей среды ведет к остановке процесса твердения бетона и вызывает значительное снижение прочности конструкций. Для снижения затрат на твердение бетона в зимнее время вместо различных способов обогрева предлагается использовать арсенал противоморозных добавок, которые, как утверждают производители, способствуют протеканию процессов гидратации цемента и твердению бетона при отрицательных температурах практически до – 25 °С.

Производителями противоморозных добавок утверждается, что их применение обеспечивает возможность проводить работы по укладке бетона в зимний период без использования дополнительных мероприятий направленных

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		7

на обогрев конструкции, что в свою очередь сокращает затраты и время на проведение строительных работ.

Для России, территория которой располагается в природных условиях с «зимним» периодом до 6 – 7 месяцев особенно важно соблюдать технологию выполнения работ, а также применять специальные материалы и технологии.

Под «зимним» периодом в строительстве считается время, когда среднесуточная температура устанавливается на уровне +5 °С, а минимальная суточная температура – ниже 0 °С [1].

Однако воздействие таких добавок на гидратацию цемента и структурообразование бетона при отрицательных температурах является довольно сложным физико-химический процессом, который требует глубокого изучения с целью формирования общей картины их воздействия для получения высококачественных материалов.

Но в результате активной деятельности человека, окружающая среда активно загрязняется сульфатами, хлоридами, отходами разных производств, что влияет на долговечность бетона, вызывая его разрушение при эксплуатации. Ущерб от коррозии в нашей стране достигает примерно 4,1 % от национального дохода, а в наиболее развитых странах – более 5 % [42].

В результате проблема повышения коррозионной стойкости строительных материалов из бетонов является одной из самых важных проблем, и поиск путей ее решения имеет огромное народно-хозяйственное значение.

Следовательно, снижения потерь от коррозии можно добиться, если при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций учитывать особенности эксплуатации и правильно выбирать сырьевые материалы и соблюдать технологию производства.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		8

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Структура бетона

Структура всех материалов является очень важной характеристикой. Она зависит от входящих компонентов, их количество и распределения между собой, а также немаловажную роль играют связи между ними. Формирование структуры начинается в момент затворения водой компонентов бетона. Так как бетон имеет очень сложную структуру и все элементы, входящие в состав бетона имеют различные размеры, от частиц крупного заполнителя до размера воздушных и гелевых пор, поэтому для удобства изучения выделяют микроструктуру и макроструктуру бетона.

Макроструктура – структура, видимая глазом или при небольшом увеличении с помощью микроскопа или лупы. Основными компонентами макроструктуры являются крупный и мелкий заполнитель, цементный камень и воздушные поры [2].

Микроструктура бетона определяется тонкой структурой цементного камня. Данная структура бетона формируется в процессе гидратации и длительного твердения цемента. Размер частиц, составляющих микроструктуру около 1 мкм, что представляет собой остатки зерен цемента и самые крупные капиллярные поры. За счет малого размера частиц данная структура изучается методами электронной микроскопии или косвенными.

Микроструктура в бетоне включает:

1. Остатки зерен цемента.

Как правило, зерна покрыты продуктами гидратации и за счет их срастания образуют прочную и очень жесткую структуру цементного камня. Существующие пустоты между оболочками представляют собой капиллярные поры.

В возрасте 28 суток цемент в бетоне в среднем гидратирует 70 – 80 %. Оставшиеся не гидратированные частицы цемента благоприятно влияют на эксплуатационные свойства бетона, залечивая поврежденные участки цементного камня при эксплуатации. За счет таких зерен твердение может протекать не

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

только в течение многих месяцев, но и лет. При этом бетон продолжает набирать прочность и улучшать свои несущие способности.

1. Разные причины могут повлиять на развитие трещины. Если трещина разрывает гелевую оболочку, вода, непрореагировавшая в цементном камне, получает доступ к зернам цемента и возобновляется активная гидратация и продукты гидратации заполняют микротрещину, «залечивая» ее.

2. Продукты гидратации цемента состоят из гелевидной и кристаллической составляющих. Большую часть объема, а именно 75 % занимает гидросиликатный гель, от которого зависят свойства цементного камня. Кристаллическая составляющая имеет размеры от 0,1 мкм до 1 мкм.

3. Капиллярные и гелевые поры. Капиллярным порам свойственно располагаться между гелевыми оболочками, которые окружают зерна непрореагировавшего цемента.

Капиллярные поры – относятся к основной дефектной структуре цементного камня и бетона. В этих порах циркулирует вода и переносит $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и другие вещества, а значит нарушает равновесное состояние в камне и приводит к процессам перекристаллизации или кристаллизации привнесенных минералов, т.е. к коррозии бетона. Такой вид пор снижает прочность бетона и эксплуатационные способности конструкций. При наступлении холодного времени года вода в таких порах начинает замерзать при температуре воздуха 1-2°C и вызывает разрушение бетона.

Существует классификация капиллярных пор. Выделяют микрокапилляры размером до 0,1 мкм, которые конденсируют влагу из воздуха и макрокапилляры размером более 0,1 мкм – заполняются водой при непосредственном контакте.

Капиллярные поры более 0,1 мкм пропускают через поры воду, которая может способствовать проникновению в бетон агрессивной среды, вызывающая коррозию и дальнейшее разрушение бетона.

Гелевые поры имеют размеры 3-5 нм и располагаются между частичками геля. При эксплуатации бетона с влажностью более 40 % они заполнены влагой. Для воды и газов гелевые поры непроницаемы. Вода в капиллярных порах при

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		10

отрицательных температурах замерзает при $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$, что говорит о том, что данные поры не опасны для морозостойкости.

Главной характеристикой микроструктуры бетона является пористость. Ее можно определить экспериментально, самым простым способом – водопоглощением бетона. При этом предполагается, что гелевые и капиллярные поры заполняются водой.

Микроструктура формируется примерно в 28 суткам твердения. Если конструкция из бетона эксплуатируется в сухих условиях, то со временем происходит высыхание и гидратация прекращается, дальше структура не изменяется. Во влажных условиях гидратация продолжается до того момента, пока не вступят в реакцию все остатки зерен цемента. При этом структура меняется, хоть и очень медленно. Продукты гидратации заполняют капиллярные поры, упрочняя структуру бетона. В большей степени повышается морозостойкость и водонепроницаемость бетона, по сравнению с повышением прочности. Для бетона, одной из важных характеристик является его поровое пространство. Поровым пространством далее будем называть объем не заполненный твердой фазой.

В момент затворения водой сухих смесей начинает формироваться поровая структура бетона, которая формируется еще долгое время до затвердевания бетона. Структура, состоящая из пор, продолжает формироваться и при перемешивании, уплотнении, и даже в момент образования новых продуктов за счет гидратации [1].

На количество и свойства поровой структуры бетона:

– уплотнение бетонной смеси во время приготовления, уменьшает количество пор в структуре, тем самым повышает как морозостойкость, так и прочность в целом.

– за приготовленным и уложенным бетоном необходимо производить уход: осуществлять полив, контролировать целостность конструкции.

– следить за составляющими в единице объема бетонного композита.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		11

Продукты гидратации не заполняют полностью объем, но характеризуются пористостью 28%, образуемой объемом между отдельными коллоидными частицами материала. Эта система частиц названа цементным гелем, а пространство между частицами – гелевыми порами [24]. Большую часть геля составляют очень слабокристаллизованные гидросиликаты кальция, отсюда и название – гидросиликатный гель.

Гелевые поры имеют весьма малые размеры. Их ширина составляет около 1,5 нм. Эти размеры соизмеримы с размерами молекул воды. Поэтому пленочная вода и адсорбированная вода отличаются от свойств свободной воды.

При осуществлении гидратации цемента происходит и образование пор других видов.

Вследствие объемных изменений в системе цемент – вода продукты гидратации имеют меньший, чем первоначальный объем вступающих в реакцию составляющих. Это изменение в системе характеризуется химической контракцией [1], оно рассматривает контракционный объем пористости.

Рассмотрим начальный этап гидратации, где после затворения водой начинаются обменные реакции, образуются новые соединения. Данные соединения (продукты гидратации и воздух) заполняют пространство между частицами и носят название капиллярные поры.

Количество капиллярных пор в начальный и последующие периоды имеют различия. Так как со временем образуется все больше продуктов гидратации, объем данных пор снижается, за счет заполнения [44].

Объем капиллярных пор со временем снижается, за счет того, что протекающая гидратация заполняет пора объем более чем в 2,5 раза, по сравнению с цементом не начавший гидратировать с другими компонентами бетонной смеси [6,16].

Гидратация цемента протекает в очень долгое время, в некоторых случаях она может продолжаться и десятки лет после изготовления конструкции, при этом происходит снижение капиллярной пористости, при этом возрастает пористость гелевая, за счет увеличения доли цементного геля в бетоне.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		12

Рассмотрим следующие характеристики, влияющие на структуру:

1. Влияние вида цемента

Поровая структура цементного камня характеризуется исходным физическим состоянием свежеизготовленной смеси, в качестве примера приведем В/Ц, а также различными видами продуктов гидратации, их размерами и морфологией [48].

Исследователи в данной области проводили изучение поровых структур на материалах, приготовленных на портландцементе.

Огромное влияние на структуру ЦК и дальнейших свойств бетона оказывает тонкость помола. Он оказывает влияние на состав пор и смешиваемость компонентов. Если увеличивать тонкость помола, можно тем самым снижать общую пористость, макро – и микропоры, так как мелкие частички цемента будут более плотно заполнять поры [48].

Это относится не ко всем цементам, например это свойственно алитовому цементу, а вот белитовый ведет себя немного по-другому, а именно при увеличении тонкости помола у бетонов на основе белитового цемента не происходит увеличение объема макропор.

Это является положительным, так как такие цементы, на основе белита, имеют высокую степень сульфатостойкости [1,48].

2. Влияние водоцементного отношения

Водоцементное отношение оказывает огромное влияние не только на бетон, но и на поровую структуру цементного камня, а так же и сам раствор [31].

В ходе затворения компонентов бетонной смеси водой, начинается гидратация, и образуется очень концентрированная суспензия из цементных зерен и воды.

Вода затворения в бетонной смеси, образует в этой суспензии систему взаимосвязанных капиллярных пор, располагающихся во всем объеме цементного камня.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		13

Чем больше воды добавить в бетон при затворении (т.е чем выше начальное водоцементное отношение), тем больше свободной воды в виде прослойки будет находиться между компонентами смеси – заполнителем и зерном цемента.

При использовании в бетонной смеси высокого отношения воды к цементу происходит увеличение пористости, что негативно может сказаться на качестве и прочности бетона при эксплуатации. [7,9].

С увеличением V/C повышается и средний размер образующихся пор.

Поры, имеющие максимальный размер примерно к марочному возрасту 28 суток при увеличении V/C видоизменяются на капилляры крупных размеров.

Количество воды необходимое для достижения нормальной густоты цементного теста определяется от вида и свойств цемента.

Количество воды затворения в основном определяется необходимыми реологическими свойствами цементного теста.

Если сравнивать достижение бетоном радиуса пор диаметром равным 50 нм при значениях $V/C = 0,4$ с $V/C = 0,3$, то наблюдается такая картина: при $V/C = 0,3$ данный диаметр достигается за 3 дня, а при $V/C = 0,4$ только лишь к марочному возрасту 28 суток [1].

3. Влияние температуры и влажности

Формирование поровой структуры очень зависит, от того, какая температура среды использовалась при твердении бетона.

Как показали исследования поровой структуры, различия в распределении пор по размерам в зависимости от температуры находится в интервале температур от + 6 до + 40 °С [48].

Если рассматривать некоторые периоды, то первый период равный 4 суткам характеризуемый низкой температурой, имел поры более крупного размера и высокую общую пористость цементного камня в сравнении с образцами, твердевшими при более высокой температуре [1].

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

В зависимости от температуры поры имеют свойство изменяться в размере. При низкой температуре, поры имеют более крупные размеры, чем при более высокой. При низкой температуре наблюдается высокая общая пористость [48].

4. Влияние возраста

С течением времени в бетоне идет гидратация, полученные продукты гидратации заполняют находящиеся в бетоне поры, чем снижают общую пористость и заполняют те поры, в которых находилась вода. Происходит снижение воды, она идет на реакции, проходящие во время гидратации.

5. Влияние карбонизации

В карбонизированной области с течением времени происходит уменьшение диаметра пор и наблюдается снижение общей пористости бетона [1,48].

Применение добавок – отходов производства в комплексе с диоксидом углерода можно добиться снижения пористости у бетона, при этом уделяют внимание факторам, от которых зависит результат. К данным факторам относятся: степени карбонизации и влажность окружающей среды [1].

6. Влияние добавок и примесей

Применение различных химических добавок оказывает огромное влияние на поровую структуру, как цементного камня, так и бетона.

При использовании в небольших количествах (1 - 2%) добавок-хлоридов, а именно хлоридов натрия, кальция, и как наиболее оказывающего влияние – магния, у затвердевшего бетона наблюдается как снижение пористости так сам диаметр пор [12]. За рубежом хлориды запрещено применять, в России применение хлоридов ограничивается до 2 %, но все таки их лучше не применять.

Добавки-ускорители для трехкальциевого силиката оказывают аналогичное действие.

Применение добавок – суперпластификаторов также приводит к образованию благоприятной поровой структуры.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		15

Вследствие воздухововлечения уменьшается объем пор в интервале радиусов от 7,5 приблизительно до 50 нм и увеличивается объем пор больше 50 нм.

Кремнеземистые, известковые и т.п. добавки, применяемые в технологии бетона, влияют на поровую структуру из таких соображений как экономические или технические, а также экологические.

Данные добавки представляют собой доменные шлаки и золы.

Если использовать в смеси вместо цемента золу, то происходит снижение общей пористости, что характеризуется более плотной структурой цементного камня.

1.2 Исследование особенностей гидратации цемента и твердения бетона при различных температурах

Как было указано ранее, существует неоднозначное мнение по поводу протекания процессов гидратации цемента при замораживании до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако, точно известно, что при снижении температуры твердения происходит снижение темпов набора прочности (а также снижение марочной прочности) композиций на основе цементного вяжущего. На рисунке 1 представлена зависимость скорости набора прочности контрольных цементно–песчаных образцов в зависимости от температуры твердения.

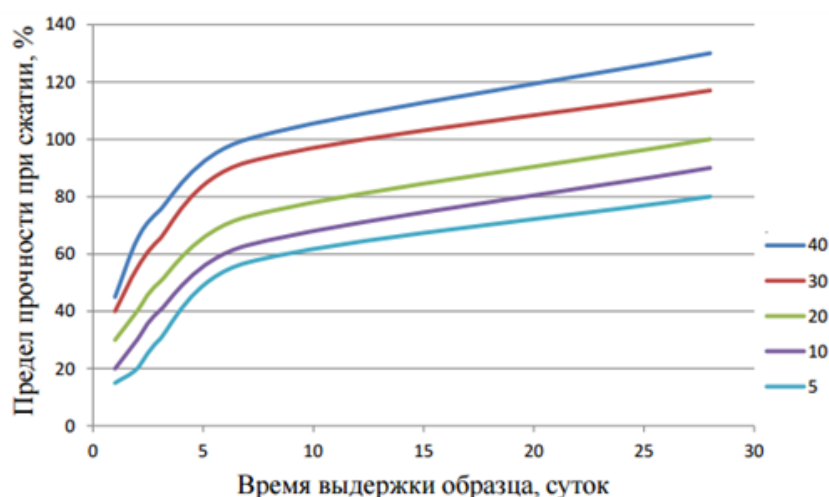


Рисунок 1 – Влияние температуры твердения на кинетику прочности бетона

Из графика видно, что понижение температуры окружающей среды приводит к падению прочности бетона одного номинального состава. Эти данные подтверждают ранние исследования.

Для определения особенностей твердения бетонов при отрицательных температурах с различными видами противоморозных добавок, было изготовлено несколько партий образцов бетона с выбранными противоморозными добавками и рекомендуемыми (производителями) дозировками, а также несколько партий контрольных составов. Данные, полученные в результате этого исследования, представлены ниже.

Испытание проводили согласно ГОСТ 30459–2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности». Для проверки гипотезы о твердении и, следовательно, протекании процессов гидратации цементов при отрицательных температурах были приготовлены и заформованы 2 состава с одинаковым водоцементным отношением, отличающиеся только противоморозной добавкой (фирм «Полипласт» и «BASF») в дозировке 4,5 % от массы цемента.

После тщательного уплотнения производили формование образцов – кубов, а затем формы с бетонной смесью помещались в морозильный шкаф, где выдерживались необходимое количество суток.

После определенного времени выдерживания при отрицательной температуре (–25 °С) образцы извлекали из морозильной камеры и помещали в камеру нормального твердения бетонных образцов (влажность 95%, температура 19 – 21 °С). Оттаивание в таких условиях производилось ровно 24 часа, после чего образцы подвергали испытанию на прочность при сжатии.

Таблица 1 – Результаты испытания бетона на прочность при сжатии, после выдержки при отрицательной температуре

ПМД в дозировке 4,5 %	Предел прочности при сжатии (МПа) образцов, оттаявших после выдержки (при – 25 °С), суток				
	1	2	3	7	28
Полипласт NORD	7,6	7,6	7,6	7,5	7,5

Окончание таблицы 1

ПМД в дозировке 4,5 %	Предел прочности при сжатии (МПа) образцов, оттаявших после выдержки (при – 25 °С), суток				
	1	2	3	7	28
MasterPozzolith 506	8,6	8,5	8,5	8,7	8,7

Таким образом, из данных можно сделать вывод, что при отрицательной температуре с данными противоморозными добавками в рекомендуемой дозировке процесс набора прочности бетоном не происходит, а прочность бетона обеспечивается гидратацией цемента в начальный период (до замораживания) и в последующем – в первые часы оттаивания

1.3 Методы зимнего бетонирования

Методы зимнего бетонирования – это мероприятия, способствующие быстрому набору прочности при низких температурах до момента прекращения гидратации цемента.

А.И. Гныря, А.П. Бояринцев, С.В. Коробков, К.Ю. Тищенко в своей работе «Сборник задач по технологии бетонных работ в зимних условиях» [44] приводят следующую классификацию методов зимнего бетонирования:

1. Беспрогревные методы.
 - 1.1 Метод термоса.
 - 1.2 Предварительный разогрев бетонной смеси.
 - Применение разогретых исходных материалов;
 - Электротермосное бетонирование;
 - Электроимпульсное бетонирование;
 - Виброэлектробетонирование.
2. Выдерживание бетона в тепляках.
3. Методы, основанные на искусственном прогреве бетона.
 - 3.1 Электропрогрев
 - Электродный;
 - Индукционный;

										Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ					18

- Инфракрасный;
- В термоактивной опалубке;
- Греющими проводами.

3.2 Паропрогрев

- Паровая «баня»;
- Паровая «рубашка».

4. Бетонирование с применением химических добавок.

4.1 Применение противоморозных добавок.

4.2 Применение противоморозных добавок с ускорителями схватывания и твердения бетонной смеси.

5. Комбинированные методы

В дополнении к вышесказанному, требованиями нормативной документации, а именно ГОСТ 26633-2012 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия» установлена минимальная температура бетонной смеси в момент поставки должна быть не ниже + 5°C [28].

Изготовление бетонной смеси может осуществляться как на самом объекте, так и за его пределами, на заводе по изготовлению бетонных смесей. Очень важно чтобы температура получаемой на объект бетонной смеси и укладываемой в опалубку конструкции была не ниже + 5°C. Для этого используют подогретую воду, заполнитель и не используют замороженный заполнитель.

Твердение бетона после укладки в опалубку возможно по двум режимам. Выделяют понятие «холодного» и «теплого» бетона. Данные понятия регулируются по ГОСТ 24211 – 2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов» [27].

Добавки для «холодного» бетона должны обеспечивать его твердение при отрицательных температурах, а прочность таких образцов не ранее чем через 2 суток после оттаивания должны достигать не менее 60 % нормируемой прочности.

Противоморозная добавка должна обеспечивать бетонной смеси в течение 4 часов после укладки в опалубку защиту от смерзлостей и замерзания. Данное

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

время необходимо для подготовки к подаче тепла. Это применяют для «теплого» бетона. Обеспечение прочности от контрольных образцов, твердеющих в нормальных условиях на 95 % в 28 суток.

В строительстве очень долгое время применяются методы бетонирования с прогревом в зимний период строительства. Данные методы позволяют сократить время строительства, способствуют быстрому набору прочности в начальные сроки строительства.

Но существуют и отрицательные моменты, такие как трудовые и финансовые. К трудовым относят – укладка в опалубку проводов для осуществления прогрева, финансовые в свою очередь выражаются большими расходами на материалы для осуществления прогрева и электроэнергия.

В настоящее время плата за пользование электроэнергией имеет большие значения. Потому применение противоморозных добавок без прогрева является актуальной задачей.

Применение в строительстве противоморозных добавок является простым, выгодным и наиболее технологичным способом зимнего бетонирования, благодаря которому можно получать требуемую прочность без затрат на прогрев конструкций, однако есть ряд особенностей применения таких добавок.

1.3.1 Современные противоморозные добавки и их совместимость с другими активаторами и модификаторами

Применение добавок при бетонировании необходимо учитывать область их применения. Противоморозные добавки по применению делятся на следующие группы:

1. Снижение температуры замерзания свободной воды. Такие добавки снижают температуру, тем самым не дают свободной воде замерзнуть при действии отрицательной температуры. Так же данная добавка в незначительной степени оказывает влияние на кинетику твердения и схватывания бетона. Примером таких добавок являются электролиты и спирты.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		20

2. Ускорение процессов схватывания и твердения. Данные добавки отражают в себе свойства антифризов. Примером таких добавок являются: поташ, хлориды, нитраты, нитриты, мочевины.

3. Сильное ускорение твердения и схватывания. Данные добавки отражают в себе свойства слабых антифризов. Примечательно, что такого рода добавки способны в начальный период твердения иметь сильное тепловыделение. Примером таких добавок являются: сульфаты трехвалентного железа и алюминия.

4. Комплексные добавки на основе пластификатора, антифриза и ускорителя. Данные добавки сочетают в себе сразу несколько добавок, которые в комплексе способствуют сокращению времени строительства, и облегчения технологии и многое другое.

Наиболее распространенные добавки, которые относят к эффективным комплексным добавкам, являются добавки на основе антифризного компонента и компонента способствующего ускорению твердения и набора прочности. К данным добавкам относят не только улучшение в качестве противоморозной добавки, но и положительно влияющего на структуру и свойства получаемого бетона. Добавки на основе микрокремнезема, обладают таким свойством, что в начальный период добавка не активна, а при достижении положительных температур, добавка активируется и начинает свое действие.

Согласно таблице 2 [23,18] в настоящее время противоморозные добавки имеют большой спектр веществ.

Таблица 2 – Вещества, применяемые для производства противоморозных добавок

Вещество	Обозначение	Формула
Хлорид натрия	ХН	NaCl
Нитрит натрия	НН	NaNO ₂
Нитрат натрия	НаН	NaNO ₃
Формиат натрия	ФН	NaCOOH
Ацетат натрия	АН	NaCO ₃ COOH
Поташ	П	K ₂ CO ₃
Гидроксид аммония	ГА	NH ₄ OH

Окончание таблицы 2

Нитрат аммония	НА	NH_4NO_3
Хлористый кальций	ХК	CaCl_2
Нитрат кальция	НК	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Формиат кальция	ФК	$\text{Ca}(\text{NCO}_2)_2$
Карбамид или мочеви́на	М	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$
Нитрит-нитрат-натрия	ННК	$\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Аммиак	А	NH_3

Нельзя говорить, что противоморозная добавка из веществ, приведенных в таблице 2, одинаково влияет на свойства. Каждая добавка, по своему, оказывает влияние на структуру, свойства и долговечность конструкции. При применении противоморозной добавки на основе этих веществ, необходимо уделять внимание составу цемента, виду и качеству заполнителя, а так же, рассматривать возможную среду эксплуатации. Противоморозную добавку в большинстве случаев применяют в комплексе с пластифицирующими и воздухововлекающими добавками.

1.3.2 Совместимость противоморозных добавок с другими добавками

В настоящее время почти все противоморозные добавки в основном являются ускорителями твердения и схватывания бетонной смеси. Но существуют определенные проблемы применения таких добавок. К таким проблемам относят сохранение и удобоукладываемость растворной смеси. Для решения данной проблемы многие производители противоморозных добавок рекомендуют использовать замедлители схватывания.

В настоящее время применение пластифицирующих добавок имеет частый характер. Их применяют при производстве различных бетонных и железобетонных конструкции.

Использование противоморозной добавки в комплексе с пластифицирующей является положительным, в основном нет противоречия между пластифицирующей и противоморозной добавкой. Такое сочетание

добавок не вызывает ухудшение бетонной смеси. Но в зависимости от бетона и его состава необходимо проверять совместимость каждой добавки.

Воздухововлекающие добавки в комплексе с противоморозной добавкой хорошо совместимы друг с другом. Воздухововлекающие добавки часто вводят для повышения морозостойкости, предотвращения у бетонной смеси расслаивания и пластифицирующего эффекта.

Так, рассмотрим, действие добавок на примере, имеется положительный опыт использования нитрита натрия с суперпластификаторами нафталинформальдегидного типа и поташа с лигно-сульфонатами, концентрацию которых при этом увеличивают в среднем до 0,3 % (вместо 0,15 % при их введении с ускорителями схватывания и твердения). В этом случае в первом приближении сохраняется пластифицирующее действие выбранных органических добавок.

Очень часто говорят о полезном действии суперпластификатора с противоморозными добавками. В качестве противоморозной добавки выступали добавки-электролиты. Но нужно обращать внимание на дозировку добавки.

Современный рынок имеет кучу добавок разных производителей, для разных бетонов, и для получения определённых свойств бетонных смесей. Один производитель в своей продукции всегда выпускает различные добавки, и практически всегда, добавки одного производителя совместимы между собой и могут применяться в комплексе.

1.3.3 Влияние противоморозных добавок на свойства бетонной смеси и бетона

Многие факторы играют роль в получении качественной бетонной смеси. Таким факторами являются цемент (состав и вид), температура укладки бетонной смеси, качество и состав применяемой противоморозной добавки, водоотделение и другие факторы. Рассмотрим более подробно каждый из них.

Водоотделение

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		23

Для бетонных смесей с наиболее популярными противоморозными добавками водоотделение и связанная с ним седиментация твердых частиц не характерны. Вода, находившаяся в бетонном растворе не успевает выделиться, так как в большинстве случаев это объяснено тем, в составе использованы такие добавки, способные дать цементу быстро схватиться.

Если вводить противоморозную добавку в большом количестве, то у бетонной смеси может повыситься вязкость жидкой фазы.

При использовании комплексных добавок возможно получение негативного эффекта – водоотделение. Комплексные добавки могут содержать в своем составе как противоморозные, так и пластифицирующие добавки, так же могут и присутствовать сильные замедлители. Применение так же таких веществ как нитрит натрия, карбамид, аммиак так же может как положительно, так и отрицательно действовать с комплексом добавок.

Для исключения отрицательного действия, используют меры по устранению данного действия, а именно водоотделения. К таким мерам относят: изменение состава бетонной смеси на более подходящий для применения таких добавок, в основном добавляют песок, и минеральные добавки высокодисперсные и т.д.

Реологические свойства бетонной смеси

В качестве противоморозных добавок в современной строительной индустрии применяют соли кальция. Данные соли проявляют себя в большинстве случаев как слабые пластификаторы. Они пластифицируют бетонную смесь, что позволяет снизить В/Ц до 5 % и сохранить подвижность, по сравнению с бетонной смесью без добавок, которую используют как эталонную бетонную смесь.

Аналогично ведут себя и смеси хлорида кальция с нитритом и хлоридом натрия.

Карбамид является химической добавкой, которая имеет наибольший пластифицирующий эффект по сравнению с другими добавками.

Если вводить это в комплексе добавок (НКМ, НКМ) то он повышает подвижность бетонной смеси.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		24

Применение карбамида в качестве добавки способствует удлинению у цемента сроков схватывания, его пластифицирующий эффект проявляется более четко в составе комплексных добавок. В добавках на основе солей кальция без содержания карбамида, такого действия не наблюдается.

Использование солей кальция в качестве добавки очень четко видно, что пластифицирующий эффект будет очень быстрый, из-за чего очень сложно реализовать бетонную смесь в кратчайшие сроки.

Не все соли используемые в противоморозных добавках или как индивидуальные обладают заметным пластифицирующим эффектом. Такие соли часто применяют с комплексом добавок, а именно с пластификаторами и суперпластификаторами.

Применение других добавок в меньшей степени оказывают влияние на усадку бетона. Так, например, добавка НКМ, которая является противоморозной, после первого оттаивания способна вызывать однократное расширение. Это все наблюдается при твердении бетонной смеси в раннем периоде.

Данный эффект в основном используют для повышения непроницаемости бетона. Но необходимо с осторожностью использовать данный метод, и применение данной добавки, так как с применением НКМ могут пойти непредсказуемые последствия после расширения.

При температуре -10°C в бетонах с противоморозными добавками, в том числе и с НКМ, протекают деформации усадки, однако их значение не превышает $0,3\text{ мм/м}$, т.е практически совпадает с усадкой для бетонов без добавок при температуре $+10^{\circ}\text{C}$.

Противоморозные добавки при использовании в комплексе с другими оказывают аналогичное действие на усадку бетона, как и при использовании добавок в индивидуальном виде.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		25

Микроструктура цементного камня

Структура, которой обладает бетон, способна формироваться под действием определенных факторов. К ним относят как физические, так и химические факторы.

При зимнем бетонировании без использования методов способных уменьшать сроки схватывания и способных к быстрой гидратации, при низкой температуре проведения работ, температура способна оказывать влияние на гидратацию цемента. Результатом является менее дефектная структура, т.е гидратные фазы имеют меньше дефектности в своей структуре.

К этому можно отнести то, что бетон, не содержащий в своем составе добавок, имеет повышенную прочность при одинаковой степени гидратации в интервале температур от 0 до 10 °С.

Химические факторы в данном вопросе относят действие противоморозных добавок на гидратацию силикатных и алюминатных цементов.

Применение противоморозных добавок для различных соединений всегда имеет различия. Так, например, фазовый состав цементного камня, состоящий из гидросиликатов кальция, не претерпевает серьезных изменений с ПДМ, что в свою очередь нельзя сказать об алюминий содержащих фазах, с аналогичной добавкой.

На электронном микроскопе, можно увидеть, что образующиеся соли в основном имеют игольчатую структуру и представляют собой набор таких игл в виде кристаллов.

Скорость их выкристаллизовывания из пересыщенных по отношению к ним растворов выше, чем скорость выделения главной фазы цементного камня — гидросиликатов кальция.

Данные соли за счет своей структуры способны формировать каркас цементного камня. Данный каркас считается первичным и выполняет роль микроармирования.

Для изучения вышесказанного было проведено ряд исследований на цементах с различной степенью гидратации алита, добавкой ПМД и без нее. В

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		26

испытаниях определяли прочность при сжатии образцов ЦК. Изготовленные образцы твердели в различных температурах.

Результаты испытания были выражены двумя уравнениями, одно уравнение соответствовало ЦК без использования ПМД, а другая – с применением ПМД. Расположение кривых было относительно друг друга. Кривая с ПДМ была расположена над кривой без добавки и это показывает, что прочность у кривой с ПДМ больше. Отсюда следует вывод, что у образцов с добавкой одной из причин большей прочности является тот самый каркас из гидросиликатов Са.

Применение противоморозных добавок еще оказывает влияние один фактор, это дисперсность. Популярные ПМД приводят к увеличению дисперсности материалов ЦК. Данное увеличение оказывает благоприятное воздействие на микроструктуру. С увеличением дисперсности в структуре возрастает и количество связанной воды. Для того чтобы снизить удельную поверхность необходимо использовать в раствор добавку в виде поташа.

При этом происходит взаимодействие двух эффектов – физического и химического. Это взаимодействие приводит к тому, что образуется плотная структура в зоне контакта с заполнителем. Плотная структура способствует повышению дисперсности гидратных фаз.

Данные взаимодействия оказывают влияние на те свойства бетона, где главную и важную роль играет контактная зона. К данным свойствам относят морозостойкость, солестойкость и другие свойства.

Ползучесть бетона

Ползучесть бетона необходимо рассматривать с применением противоморозных добавок и добавок – ускорителей, для сравнения действия каждой из них на бетон. Противоморозные добавки оказывают не существенное влияние на ползучесть, что нельзя сказать о добавке-ускорителе. А при использовании совместно с добавками других классов наблюдаются те же закономерности, которые были уже отмечены ранее при рассмотрении деформаций усадки бетонов с этими же комплексными добавками.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		27

Поровая структура цементного камня

Использование в приготовлении бетонной смеси различных противоморозных добавок оказывает положительное влияние на формирование поровой структуры ЦК.

Непроницаемость бетона

Противоморозные добавки, содержащие соли кальция способствуют смене в цементном камне пор на микрокапилляры и поры геля. При этом улучшается влагоемкость, в зоне контакта цементного камня и заполнителя наблюдаются улучшения в сцеплении. Это является положительным эффектом для бетона, который способен обеспечивать большую непроницаемость.

Исследование на способность бетона пропускать сквозь свою структуру воду определяется методом продавливания под давлением воды. Непроницаемость в присутствии пластифицирующих добавок это значение превышает еще больше чем бетон без добавки.

Добавки на основе нитрита натрия по сравнению с другими добавками бетона способствует меньшему повышению значения непроницаемости.

Другая добавка, применяемая в строительстве, поташ, ухудшая поровую структуру цементного камня, повышает проницаемость бетона, однако при его сочетании с пластифицирующими добавками, используемыми для снижения водоцементного отношения бетонной смеси и замедляющими сроки схватывания, обычно указанное негативное влияние в достаточной степени компенсируется.

Сроки схватывания бетонной смеси

Применение противоморозных добавок в зимнее время очень сокращает начало схватывания цемента. ПМД на основе хлорида кальция, поташ и комплексные добавки на их основе являются добавками, которые сокращают схватывание. Применение данных добавок негативно влияет на транспортировку бетонной смеси на дальние расстояния. Поэтому для решения данной проблемы совместно с противоморозной добавкой в зимний период используют

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		28

замедлители схватывания. Замедлители могут быть как органическими, так и не органическими.

Нитрат кальция, НКМ и НКМ незначительно ускоряют процессы схватывания бетонной смеси. Нитрит натрия слабо изменяет сроки схватывания цемента, а карбамид замедляет их.

1.3.4 Влияние противоморозных добавок на долговечность бетона

Долговечностью бетона называют способность сохранять свои эксплуатационные свойства в течение долго периода времени. На долговечность оказывают влияние много факторов.

Все ПМД оказывают различное действие на долговечность бетона. Все зависит от среды нахождения бетона, от состава цемента, от вида и качества заполнителя. Каждый раз при использовании какой-либо противоморозной добавки, необходимо оценить каждый фактор, который может повлиять на долговечность. Использование ПМД возможно в сочетании с другими добавками, ими могут быть воздухововлекающие, газообразующие, пластифицирующие добавки и суперпластификаторы.

1.4 Стойкость бетона к агрессивным воздействиям окружающей среды

Самым нестойким компонентом бетона является цементный камень, как наиболее химически активный и вследствие этого подверженный опасности разрушения в результате химического действия агрессивной окружающей среды.

При соединении цемента с водой происходят процессы гидролиза и гидратации минералов цементного клинкера, в результате чего образуются сложные гидратированные соединения.

В разных странах действуют нормативные документы, классифицирующие агрессивные среды по степени их разрушительного воздействия на бетон. При этом нормы, принятые в СССР, наиболее детализированы. Нормы, принятые в СССР (СНиП 2.03.11 – 85), содержат показатели агрессивности и оценку ее степени применительно к бетонам различной проницаемости, изготовленным на различных цементах [46].

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		29

Жидкие среды. Наибольшую опасность для бетона представляют жидкие среды, постоянно или периодически действующие на конструкции, для прохождения которых при обычных температурах необходима жидкая среда.

О неизбежном повреждении бетонных сооружений при контакте с водой еще в 20 – е годы известный исследователь в области цемента и бетона академик А. А. Байков писал, что все бетонные сооружения из портландцемента неизбежно должны подвергаться процессу выщелачивания извести и по истечении известного времени утрачивать всякую связность и разрушаться.

Вопросы коррозии бетона в жидких средах с общих позиций были рассмотрены К.В. Москвиным [48]. В работе подчеркивалось, что действие на бетон больших количеств жидкостей всегда приводит к коррозии.

В дальнейшем воздействующие факторы и вызываемые ими коррозионные процессы были классифицированы В.М. Москвиным на три основных вида по механизму коррозионного процесса. Классификация процессов коррозии на три вида позволяет сгруппировать требования к бетону и показатели агрессивности среды на основании представлений о механизме коррозионных процессов [36].

К I виду коррозии отнесены все случаи действия воды и водных растворов, при которых происходит растворение и вынос из структуры бетона растворенных компонентов цементного камня, что приводит к понижению его прочности.

Ко II виду отнесены процессы коррозии в результате химического взаимодействия компонентов внешней среды с образованием растворимых или нерастворимых соединений, но не образующих упрочняющих структурных элементов в результате коррозионного процесса. Это в основном действие на бетон кислот и кислых солей.

К III виду коррозии относятся процессы, при которых разрушение – снижение прочности, обусловлено возникновением внутренних напряжений в результате образования в цементном камне новых соединений с увеличением объема твердой фазы или кристаллизации соединений из окружающего водного раствора.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		30

Следующими показателями, характеризующими агрессивность воды, являются концентрация водородных ионов – рН и содержание углекислоты. Водородный показатель характеризует концентрацию диссоциированных кислот. Бетон на обычных цементах подвержен действию любой кислоты, но агрессивность кислот зависит от их концентрации и от растворимости их кальциевых солей, так как образующаяся в процессе коррозии пленка продуктов коррозии будет по-разному тормозить процесс коррозии, создавая препятствие прониканию (диффузии) кислоты вглубь бетона.

Твердые среды. Подход к оценке степени агрессивности твердых сред основан, прежде всего, на тех же принципах, что и для жидких сред. Если грунт сильно увлажнен, то оценка производится на основании химического анализа воды, отжимаемой от грунта и далее по тем же нормам, что и для жидких сред. При влажных, но не обводненных грунтах учитывается их агрессивность по отношению к бетону только по содержанию сульфатов и в зависимости от влажности грунта.

Оценка степени агрессивности является вспомогательной операцией, которая дает основания для разработки мер защиты от коррозии. Во всех случаях, когда конструкция соприкасается с агрессивной средой, в первую очередь должны быть определены меры первичной защиты, так как при том создается наиболее надежное решение. Защита бетона покрытиями необходима, когда среда агрессивна и после принятия мер первичной защиты.

Газовые среды. Агрессивность газовых сред существенно зависит от влажности газовой среды. Действие на железобетон газовых сред определяется видом и концентрацией кислоты, конденсирующейся на поверхности и в порах защитного слоя бетона. Особенно опасна в этом отношении хлористоводородная (соляная) кислота.

Агрессивное действие распространенных кислых газов CO_2 и SO_2 состоит в нейтрализации поверхностного слоя бетона и образования в нем соединений, по-разному влияющих на свойства бетона. Углекислый газ в бетоне соединяется с

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		31

растворенным гидроксидом кальция, нейтрализуя его и обуславливая потерю защитных свойств бетоном поверхностного слоя.

Сернистый газ образует сернистую кислоту, которая сравнительно легко окисляется на воздухе в серную кислоту, происходит сульфатизация бетона, которая ослабляет его защитное действие.

В СНиП.2.03.11 – 85 [46] условия газовой среды разделены на три группы в зависимости от влажности климата помещений. Газовые среды классифицированы на четыре группы по степени агрессивности в зависимости от вида и концентрации газа. По отношению к бетону агрессивной считается только газовая среда с повышенной концентрацией газов и при высокой влажности.

Влияние температуры. Действующие нормы составлены в расчете на интервал температур от 0 до 50 °С. И, как показали последние исследования, температура может существенно повлиять на кинетику коррозионного процесса. Растворимость гидроксида кальция повышается с понижением температуры.

1.4.1 Общая характеристика сульфатной коррозии

Сульфатная коррозия способна снижать прочность бетона и образовывать высолы на его поверхности. Физическая сущность сульфатной коррозии заключается в накоплении в порах солей, способных приводить к потере прочности, при этом нарушение структуры приводит к разрушению бетона.

Разрушение бетона проявляется в виде разбухания, а затем неравномерной усадкой при высыхании и искривлении конструкции. В результате протекания химических реакций между цементным камнем и веществами, поступающими из внешней среды, формируются новые соединения, по объему значительно больше, чем объем порового пространства цементного камня. Сульфатная форма коррозии наиболее характерна для нижних частей колонн и балок из-за капиллярного подсоса влаги с перекрытий или поверхностных вод, насыщенных сульфатами.

В.М. Москвин в своей работе «Коррозия бетона» относит сульфатную коррозию к III виду коррозии. Сущность коррозии такова, что вначале

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		32

проявляется повышение прочности, а затем, за счет новых соединений и их большого объема происходит снижение прочности и разрушение бетона [48,25].

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

При действии на цементные материалы растворов сульфатов изменяется фазовый состав цементного камня.

Сульфатная коррозия бетона состоит в том, что в жидкой фазе цемента всегда присутствуют и могут активно взаимодействовать с агрессивной средой ионы кальция (Ca^{2+}) и группа (OH^-). Имеются и другие ионы, но они обычно подавляются большим количеством извести.

Действие катионов среды оказывается наиболее агрессивным в том случае, если они способны образовывать с ионами гидроксида плохо растворимые или малодиссоциированные соединения.

В цементах без добавки снижение концентрации свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$, вызвано взаимодействием с сульфат-ионами агрессивной среды.

Анализ вещественного состава образцов показывает, что характер коррозионных процессов, протекающих в бездобавочном цементном камне, одинаков и отличается только скоростью. Более длительное сохранение прочности у образцов на цементе, содержащим 12 % C_3A , объясняется тем, что в начальный период взаимодействия с сульфатами на поверхности образуется плотный слой геля, ограничивающего доступ сульфат-иона в цементный камень за счет коагуляции пор. Взаимодействие гидроксида кальция с микрокремнеземом сопровождается образованием низкоосновного гидросиликата кальция типа C-H-S (I).

После 2х месяцев воздействия сульфатов на бездобавочный цементный камень с любым содержанием C_3A обнаруживается этtringит и двуводный гипс с одновременным снижением интенсивности отражений, соответствующих непрореагировавшим силикатам кальция, что можно объяснить дальнейшей гидратацией клинкерных минералов. Существование этtringита возможно при

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		33

pH среды не менее 9,8. За счет того, что во время протекания реакции образуется переход из высокоосновного в низкоосновный сульфат кальция. При этом происходит снижение pH среды, за счет этого образование этtringита становится не возможным и он исчезает, а вместо него все поровое пространство занимает гипс. Следовательно, в отношении предотвращения коррозии предпочтительными должны считаться цементы и бетоны, содержащие не только ограниченное количество C_3A (менее 5%), но и одновременно обеспечивающие невысокие величины pH поровой жидкости. Накопление продуктов коррозии приводит к снижению в цементном камне содержание свободного гидроксида кальция и смещению в сторону образования гипса.

Дальнейшее выдерживание образцов в сульфатах вызывает исчезновение отложений этtringита, рост интенсивности отложений гипса. В сульфатном растворе происходит полное разложение алюминатов и потеря прочности образцов за счет гипсовой коррозии.

Формирование структуры камня из низкоосновных гидросиликатов кальция снижает скорость взаимодействия свободного гидроксида кальция с сульфатами.

1.5 Морозостойкость бетона

Согласно ГОСТ 10060 – 2012 морозостойкость бетона – это его способность в водонасыщенном или насыщенном раствором соли состоянии выдерживать многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения (трещин, сколов, шелушения ребер образцов), снижения прочности, изменения массы и других технических характеристик [26].

Разрушение бетона при попеременном замораживании и оттаивании в водонасыщенном состоянии характеризуется деформационными процессами, вследствие чего наблюдаются механические повреждения конструкции.

При замораживании вода в порах переходит в лед, который при кристаллизации увеличивается в размерах на 9,8 %, что приводит к возникновению в бетоне напряжений и тем самым способствует его разрушению.

Рассмотрим несколько гипотез.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		34

Гипотеза №1. Непосредственное воздействие кристаллизующегося льда на стенки пор.

Данная гипотеза говорит о том, что на стенки пор оказывает напряжение не образовавшийся лед, а вода, на которую в свою очередь оказывает влияние образовавшийся лед.

При этом существует тот факт, что вода, заполняющая капиллярные поры не может в полной степени переходить в лед при действии отрицательных температур. За счет того, что в гелевых порах она замерзает при температуре ниже $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Более того, существует мнение, что морозом разрушаются бетоны, поры которых заполнены водой менее чем на 90%.

Данная гипотеза описана Т. Пауэрсом, но и она так же имеет недостатки. [37]. Так, при увеличении скорости замораживания разрушение ускоряется, тогда, как давление льда при этом не возрастает.

Как утверждает Пауэрс, разрушение бетона происходит при попеременном замораживании за счет влияния гидравлического давления от замерзания воды. Замёрзшая вода в порах и капиллярах совместно с гелевой в результате создает разрушающее давление.

Убедительным аргументом в пользу этой гипотезы является то, что она объясняет механизм защитного действия воздушных пор. При их достаточном количестве «избыточная» вода оттесняется в эти поры без нарушений структуры бетона. Разрушение бетона происходит тогда, когда объем условно замкнутых пор постепенно заполняется водой, и они не могут выполнять функции резервных (демпферных). В соответствии с гипотезой гидравлического давления, напряжения, возникающие в бетоне, будут пропорциональны скорости замораживания, количеству оттесняемой жидкой фазы и ее вязкости и обратно пропорциональны проницаемости цементного камня.

Как описывал свою модель Пауэрс для изучения данной гипотезы. Он представлял ее в виде цилиндра, как цилиндрический капилляр, внутри которого находилась вода, и данный цилиндр был окружен цементным камнем.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
						35
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Рассмотрим данное исследование с точки зрения теории о сопротивлении материалов. В цилиндре, за счет давления возникают растягивающие напряжения, которые при достижении предела прочности, разрушают бетон.

В данной гипотезе, недостатком является то, что автор не берет во внимание размеры капилляра и толщину оболочки.

Американский ученый Джонсонс К. изучавший аналогичную проблему, описал модель, где все было представлено, как толстостенная трубка в зависимости от диаметра капилляра и размеров оболочки. Окружающие, рассматриваемый капилляр, капилляры были представлены в виде распределенной в пространстве равномерной нагрузки. Диффузия воды к области замерзания создает дополнительное давление.

На данный момент ученые утверждают, то не только гидравлическое давление способно разрушать бетон, но и относят к причинам разрушения и осмотическое давление. Осмотическое давление может быть вызвано за счет повышения концентрации растворенных веществ на границе образования льда. К таким растворенным веществам часто относят – гидроксид кальция, различные щелочи и другое.

Гипотеза №2. Термическая несовместимость компонентов бетона

Каждый материал имеет свои отличные от другого материала коэффициенты температурного расширения (КЛТР), так заполнитель и цементный камень имеют разные КЛТР.

При действии отрицательных температур возникает термическая несовместимость компонентов, например, лед имеет коэффициент расширения в более чем в 5 раз больше по сравнению с температурным коэффициентом расширения обычного бетона.

От порового пространства бетона зависит очень много характеристик, например, морозостойкость. Как известно, в бетоне имеется три вида пор, поры цементного геля, капиллярные поры и замкнутые поры. Размер каждой пор является индивидуальным значением:

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		36

– поры цементного геля, размер которых лежит в пределах (15 – 40) – 1010 нм, имеют низкую проницаемость для газов и жидкостей. С помощью протекания в бетоне диффузии переносится жидкая фаза в гелевые поры. Еще один немаловажный факт, вода, находящаяся в гелевых порах при действии низких и отрицательных температур не замерзает.

– капиллярные поры 0,01 – 1 мкм, в которых часть воды находится в структуре и которые не заполнены продуктами от гидратации. Данные поры выделяет как основной дефект. При изготовлении бетонной смеси, когда происходит затворение водой компонентов, часть ее образует капиллярные поры. Поры меньшего размера сменяются гелевыми. При замерзании поры в зависимости от размера замерзают по-разному. Приведем пример: Если пора имеет диаметр более 1,5 мм, температура, необходимая для замерзания воды в данной поре около минус 6 °С, при диаметре 0,1 – 0,2 мм при температуре минус 15 °С, если менее 0,05 мм, то температура характерна как минус 20 °С. В порах меньшего размера, замерзание воды происходит ниже – (50...70) °С.

Контракционный объем рассматривают в наше время не как самостоятельный вид пор, а как часть капиллярной пористости.

– условно замкнутые поры 10 – 500 мкм.

К такому виду в структуре бетона относят поры, заполненные воздухом.

Данные поры можно регулировать добавлением воздувовлекающими и газообразующими добавками, которые в значительной степени способны изменять структуру

Если рассматривать единичный объем, то в нем будет находиться от нескольких сотен тысяч до миллиона таких пор.

Замкнутые поры так же были изучены Т. Пауэрсом в своих работах. Для того чтобы как то оценить влияние воздушных пор в структуре бетона, было исследование распространение таких пор, которые в последующем были названы как «фактор расстояния» [37].

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		37

Данное исследование рассматривалось на модели «куб», в котором принималось, что система является настолько идеальной, что поры расположены в правильном порядке и на одном, одинаковом расстоянии друг от друга.

При определении морозостойкости, определение циклов, которые способен выдержать бетон, неотъемлемую важность уделяют температуре, в которой происходит замораживание, а так же отдельное внимание уделяют степени водонасыщения.

Степень водонасыщения играет очень важную роль. Так при степени водонасыщения больше необходимого значения, и в свою очередь которые зависит от значения отрицательной температуры, при которой происходило замораживание, могут наблюдаться сбросы прочности бетона.

При использовании в смеси солей, водонасыщение бетона увеличивается. При бетонировании конструкций в зимнее время при наступлении температуры до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, вода, находящаяся в капиллярных порах замерзает. В дальнейшем при сильном снижении температуры происходит замерзание пор более мелкого размера, при достижении температуры в интервале от $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ вся вода находится в замершем состоянии. Исключением является вода, которая не замерзает при действии отрицательной температуры – это вода, заполнявшая мелкие гелевые поры и адсорбированная на стенках капиллярных пор.

Критическое водонасыщение можно достичь не только водонасыщением при замораживании, а так же от пара, при перераспределении поровой воды.

В настоящее время морозостойкость регулируется ГОСТом 10060 – 2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости» [26]. Существует две марки по морозостойкости F_1 и F_2 .

Марка бетона по морозостойкости F_1 : Марка по морозостойкости бетона, испытанного в водонасыщенном состоянии, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, а также бетонов, эксплуатируемых при воздействии минерализованной воды.

Марка бетона по морозостойкости F_2 : Марка по морозостойкости бетона дорожных и аэродромных покрытий и бетона, эксплуатируемого при воздействии

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		38

минерализованной воды, и определенная при испытании образцов, насыщенных 5 %-ным водным раствором хлорида натрия.

Определение морозостойкости: Оценка максимального числа циклов замораживания и оттаивания бетона, при котором характеристики бетона остаются в нормированных пределах, а также отсутствуют трещины, сколы, шелушение ребер образцов.

Согласно ГОСТ 18105 – 2018 [6] термин проектный возраст бетона это – установленное в нормативно-технической или проектной документации время твердения бетона, в течение которого должна быть достигнута прочность, соответствующая его классу или марке.

Для определения морозостойкости согласно ГОСТ 10060 – 2012 «Бетоны. Методы определения морозостойкости (с Поправками)» [26] существуют 2 метода, а именно базовый и ускоренный. В свою очередь эти два метода имеют еще по 2 метода. Описание каждого метода приведено в таблице 3.

Таблица 3 – Условия испытаний при определении морозостойкости

Метод испытания и марка бетона по морозостойкости	Применимо для бетонов	Условия испытания		
		Среда насыщения	Среда и температура	
			замораживания	оттаивания
Базовый метод				
Первый F ₁	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий и бетонов конструкции, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды	Вода	Воздушная, минус (18±2) °С	Вода (20±2) °С

Окончание таблицы 3

Второй F ₂	Бетоны дорожных и аэродромных покрытий и бетоны конструкции, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды	5%-ный водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус (18±2) °С	5%-ный водный раствор хлорида натрия (20±2) °С
-----------------------	---	--------------------------------------	----------------------------	--

Определение морозостойкости бетона начинают после достижения бетоном проектного возраста. При большем возрасте конструкций указывают срок эксплуатации бетона.

Окончание таблицы 3

Метод испытания и марка бетона по морозостойкости	Применимо для бетонов	Условия испытания		
		Среда насыщения	Среда и температура	
			замораживания	оттаивания
Ускоренный метод				
Второй	Все виды бетонов, кроме бетонов дорожных и аэродромных покрытий, бетонов конструкции, эксплуатирующихся при действии минерализованной воды, и легких бетонов марок по средней плотности менее D1500	5%-ный водный раствор хлорида натрия	Воздушная, минус (18±2) °С	5%-ный водный раствор хлорида натрия (20±2) °С
Третий	Все виды бетонов, кроме легких бетонов марок по средней плотности менее D1500	5%-ный водный раствор хлорида натрия	5%-ный водный раствор хлорида натрия, минус (50±2) °С	5%-ный водный раствор хлорида натрия (20±2) °С

1.5.1 Факторы, определяющие морозостойкость бетона

1 Минералогический состав цемента

Эксперименты, проведенные С.В. Шестоперовым с мономинеральными цементами при В/Ц = 0,6 показали следующие результаты:

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		41

1. Цемент на основе C_3S выдержал 649 циклов попеременного замораживания и оттаивания;

2. C_2S – 594 цикла;

3. C_4AF – 100 циклов.

При добавлении C_3A происходит снижение морозостойкости, так при добавке 5 % C_3A морозостойкость алита снижается до 546 циклов, при 10 % C_3A до 475 циклов. Введение в белит до 10 % C_3A снижает морозостойкость до 51 цикла. Причиной снижения морозостойкости при добавлении в бетонную смесь алюмината наличием в цементе различных силикатных и алюминатных фаз цемента, что вызывает появление трещин и тем самым снижает количество циклов попеременного замораживания и оттаивания бетона.

Содержание C_3A в цементе для получения морозостойких бетонов должно находиться в пределах до 5 %, а C_3S не менее 50 % [48].

Чтобы предотвратить отрицательное воздействие C_3A вводят оптимальное количество в качестве добавки двуводный гипс. При использовании гипса сверх нормы приводит к образованию этtringита, который нарушает кристаллические связи и снижает прочность.

2. Вид цемента

Для изготовления бетона с повышенной морозостойкостью чаще всего применяют цементы следующих видов, а именно сульфатостойкий, гидрофобный и пластифицированный портландцементы.

Применение же в изготовлении пуццолановых добавок в большом количестве (до 30 %) резко увеличивает водопотребность цемента, что значительно снижает морозостойкость бетона.

В исследованиях В.М. Москвина с применением пуццолановой добавки в небольшом количестве (до 5 %) морозостойкость бетона повышается за счет того, что $Ca(OH)_2$ переходит в низкоосновные гидросиликаты, при этом происходит уплотнение бетона [41].

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		42

Бетоны с применением вяжущего, в виде шлакопортландцемента (ШПЦ) и тепловой обработки, обладают высокой морозостойкостью. При этом бетоны изготавливаются при содержании шлака 40 – 45 % и В/Ц = 0,5.

Исследования, проводившиеся С.В. Шестоперовым при сравнении морозостойкости на вяжущих ШПЦ и ПЦ, показали следующие результаты: бетоны на ШПЦ после пропаривания имеют больше циклов замораживания и оттаивания, чем бетоны на ПЦ [49].

В данных условиях происходит связывание гидроксида кальция, при этом гелевидные низкоосновные гидросиликаты обладают повышенной устойчивостью, они способны уплотнять бетон, а также при фазовых напряжениях снижать внутренние напряжения.

Для получения бетонов с высокой морозостойкостью необходимо использовать свежемолотые цементы. Цементы, подвергшиеся старению, за счет продолжительного хранения оказывают отрицательное действие на морозостойкость. Также отрицательным моментом является твердение бетона при недостаточной влажности окружающей среды.

За счет того, что цемент долгое время хранился, происходит снижение морозостойкости бетона в 2,5 раза, а снижение активности цемента уменьшает морозостойкость до 10 раз, при этом прочность при сжатии снижается до 33 % [39].

3. Водоцементное отношение

Отношение В/Ц играет важную роль при определении морозостойкости, так как от данного значения зависит количество капиллярных пор и насколько быстро они заполняются продуктами гидратации.

Для бетонов с высокой морозостойкостью, необходимо уплотнять бетонную смесь. У недоуплотнённых бетонов появляется повышенное количество капиллярных пор, которые снижают морозостойкость.

Немаловажный факт, который влияет на морозостойкость, это создание благоприятных условий твердения, чтобы получить наиболее высокую степень гидратации.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		43

По испытаниям В.М. Москвина, при больших В/Ц, за счет образования льда, наблюдается деформация структуры.

Увеличение В/Ц оказывает рост объема и размера капиллярных пор, повышается степень гидратации. Водопоглощение у бетонов с высоким В/Ц значительно, так как в таком бетоне много капиллярных пор, вода в данных порах при замораживании переходит в лед и тем самым разрушает структуру бетона.

4. Качество заполнителя

Применение неморозостойкого заполнителя существенно снижает способность бетона выдерживать действие отрицательных температур. Заполнитель насыщается водой и при замораживании переходит в лед, который разрушает сам заполнитель и структуру бетона [50].

Примеси содержащиеся в заполнителях, оказывают отрицательное влияние, они снижают прочность бетона, а в некоторых случаях вызывают разрушение бетона.

Чтобы получать бетон с повышенной морозостойкостью, необходимо использовать такой заполнитель, в котором содержание глинистых и пылевидных частиц не должно превышать 2 %. Присутствие глины в комках недопустимо.

С присутствием глины в виде комков или пленки на поверхности заполнителя приводят к недостаточному сцеплению с цементным камнем, для такого заполнителя необходимо значительно больше воды затворения, при этом происходит снижение прочности и увеличивается пористость бетона.

Заполнители должны иметь форму куба, по гранулометрии – обеспечивать максимальную плотность смеси заполнителей, обеспечивать надежное сцепление с цементным камнем, быть чистыми и иметь шероховатую поверхность.

5. Приготовление и уплотнение бетонной смеси

Бетонная смесь, в любом объеме, должна сохранять соотношение компонентов смеси, т.е быть однородной. Однородность должна сохраняться при

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		44

транспортировке и перегрузке. Недопустимо расслоение и потеря цементного молока.

С момента затворения и спустя некоторое время, бетонная смесь снижает свою подвижность и становится жесткой, что в свою очередь зависит от температуры твердения, состава бетонной смеси и водоудерживающей способности цемента. Потеря подвижности смеси зависит от способа уплотнения, при котором на этапе затворения бетонной смеси рассчитывается количество воды. Добавлять воду для повышения подвижности при формировании категорически запрещается.

Виброуплотнение должно обеспечивать максимальную плотность бетонной смеси и однородность. Выделяют основные способы уплотнения – вибропрессование, вибропрокат, вибровакуумирование и т.д. Данные способы позволяют уменьшить количество воды затворения и повысить морозостойкость.

6. Условия твердения бетона

Пропаривание снижает морозостойкость, за счет увеличения капиллярной пористости и изменения структуры бетона. Капиллярную пористость можно снизить используя мягкие режимы пропаривания и выдержкой перед ТВО около 6 часов.

Быстрый нагрев оказывает негативное влияние на морозостойкость. При быстром нагреве, который имеет значительное давление паровоздушной смеси на поры бетона снижается морозостойкость.

Ускорить ТВО, но при этом не снижать морозостойкость можно следующими способами:

1. использование ступенчатых режимов ТВО;
2. скорость подъема температуры осуществлять по возрастающей;
3. пропаривать при небольшом избыточном давлении.

При использовании заранее подогретой бетонной смеси позволяет получить высокую морозостойкость, но при этом необходимо уделять внимание водосодержанию бетонной смеси.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		45

Если бетон твердеет в благоприятных условиях, которые исключают испарение воды или образование льда во время замораживания, особенно в ранние сроки твердения, достигается высокая степень гидратации, при этом повышается морозостойкость.

7. Введение пластифицирующих и воздухововлекающих добавок

Гидрофильные пластификаторы, а именно – ЛСТ, СП, поликарбоксилатные и акрилатные гиперпластификаторы и др. снижают водопотребность и В/Ц бетонной смеси от 5 до 40 процентов. Введение таких добавок уменьшает количество капиллярных пор, но при этом замедляется твердение бетонной смеси.

Пластифицирующе-воздухововлекающие добавки такие как: мылонафт, омыленная растворимая смола ВПК и др., способны увеличивать как подвижность бетонной смеси на 1 – 2 см так и воздухововлечение до 5 %. При использовании таких добавок замедляется гидратация цемента и твердение бетона, снижают В/Ц и сокращают расход цемента, повышают прочность и стойкость к агрессивным средам. Морозостойкость с данными добавками увеличивается в 1.5 – 2 раза за счет вовлечения воздуха, что снижает капиллярный подсос и снижает водопоглощение.

Воздухововлекающие добавки (смола древесная омыленная СДО, сульфанол С) увеличивают содержание в бетоне воздуха от 4 до 6 % , что способствует повышению морозостойкости за счет равномерного распределения в структуре бетона пузырьков.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		46

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. В настоящее время строительство в зимний период набирает все больше и больше популярности. За счет введения противоморозных добавок в комплексе с суперпластификаторами возможно сократить время строительства и при этом повысить эксплуатационные свойства конструкций.

2. Применяются различные методы зимнего бетонирования, используемые в настоящее время при строительстве в зимний период. Такие методы разделены на следующие группы: беспрогревные, искусственно прогретые бетоны, применение химических добавок и комбинированные. В последние годы введен термин «холодный» бетон, который требует применения эффективных добавок. Совместное использование метода зимнего бетонирования и противоморозной добавки может сократить затраты на строительство.

3. Большинство бетонных конструкции находятся под воздействием окружающей среды, которая связана с замораживанием и оттаиванием, увлажнением и высушиванием, с воздействием жидких агрессивных сред, очень часто сульфатных. Чаще всего бетоны подвергаются воздействиям сульфатов. В промышленных и сельско-хозяйственных районах это связано с повышением в грунтовых водах концентрация сульфат-ионов достигает 5 – 10 г/л. Все это требует применение в строительстве бетонов с повышенной сульфатостойкостью.

4. Резкоконтинентальный климат России требует применения в строительстве бетонов с повышенными требованиями по морозостойкости и сульфатостойкости.

5. Применение в строительстве противоморозных добавок является простым, выгодным и наиболее технологичным способом зимнего бетонирования, благодаря которому можно получать требуемую прочность без затрат на прогрев конструкций, однако есть ряд особенностей применения таких добавок и их эффективности.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		47

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель работы – изучить особенности формирования структуры «холодного» бетона и исследовать его сульфато – и морозостойкость.

Задачи работы:

1. Исследовать особенности гидратации и твердения «холодного» бетона.
2. Оценить влияние предварительного замораживания бетона на его сульфатостойкость.
3. Исследовать влияние способа «холодного» бетонирования на морозостойкость бетона.
4. Оценить экономически эффективное применение «холодных» бетонов.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		48

2 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристики сырьевых материалов

Для проведения испытания используется бетонная смесь, в которую входят следующие компоненты: цемент, крупный и мелкий заполнители, добавка, вода. Каждый материал имеет свои свойства указанные в таблицах ниже.

1. Цемент

При изготовлении образцов для проведения исследования использовали цемент, применяемый для строительства по ГОСТ 31108-2003 [31], класса ЦЕМ I 42,5 Н коркинского завода ООО «Дюккерхофф Коркино Цемент».

Цемент производства данного завода характеризуется высоким качеством, постоянством как минералогического, так и химического составов, имеет широкое применение на строительном рынке.

Основные фазы минералогического состава используемого цемента представлены:

C_3S – 64,2%; C_2S – 10%; C_3A – 6,3%; C_4AF – 14,2%, MgO – 1,5%, количество щелочных оксидов в пересчете на Na_2O ($Na_2O+0,658 K_2O$) – 0,5.

Химический состав используемого цемента приведен ниже в таблице 4.

Таблица 4 – Химический состав цементного клинкера

Содержание в цементе основных оксидов, % по массе							
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	CaO своб.	MgO	SO_3	Cl-ионы
23,8	6,8	3,4	55,3	0,9...1,3	4,3	3,0	0,007

Основные характеристики используемого цемента [47] содержатся в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики цемента

Показатель	Ед. изм.	Значение	Норматив ГОСТ 31108-2003 [31] ГОСТ 30515-2013 [30]	Соответствие ГОСТ
1	2	3	4	5
Нормальная густота	%	26,0	не нормируется	–

Окончание таблицы 5

Показатель	Ед. изм.	Значение	Норматив ГОСТ 31108-2003 [31] ГОСТ 30515-2013 [30]	Соответствие ГОСТ
Начало схватывания	мин	180	не ранее 60	соответствует
Конец схватывания	мин	270	не нормируется	соответствует
Тонкость помола (остаток на сите № 008)	%	2,9	не более 15	соответствует
Удельная поверхность	см ² /г	3295	не нормируется	—
Предел прочности при изгибе в возврате 2 суток 28 суток	МПа	3,7 7,9	не нормируется не нормируется	соответствует соответствует
Предел прочности при сжатии в возврате 2 суток 28 суток	МПа	17,0 47,0	не менее 10 не менее 42,5 не более 62,5	соответствует соответствует
Содержание естественных радионуклидов, Бк/кг	Бк/к	71	не более 370	соответствует

2. Заполнители

Мелкий заполнитель использовали в виде мытого кварцевого песка завода ООО «Хлебороб». Характеристики песка данного производства приведены в таблице 6.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		50

Таблица 6 – Характеристика мелкого заполнителя

Показатель	Ед. изм.	Значение	Норматив ГОСТ 8736-2014 [33] ГОСТ 26633-2015 [28]	Соответствие ГОСТ
1	2	3	4	5
Насыпная плотность	кг/м ³	1415	Не нормируется	Соответствует
Истинная плотность	кг/м ³	2630	Не нормируется	Соответствует
Пустотность	%	46	Не нормируется	Соответствует
Содержание глинистых и пылеватых частиц	%	1,2	Не более 2	1 группа
Содержание глины в комках	%	–	Не более 0,5	1 группа
Модуль крупности		2,10	Не нормируется	Средний
Содержание зерен > 10 мм	%	0	Не более 0,5	Соответствует
Содержание зерен > 5 мм	%	0,2	Не более 5	Соответствует
Содержание зерен < 16 мм	%	4,8	Не более 5	Соответствует
Содержание естественных радионуклидов	Бк/кг	не более 370	не более 370	Соответствует
Полные остатки на ситах, %				
0,16	мм	94,7	Не нормируется	–
0,315	мм	74,8		
0,63	мм	35,6		
1,25	мм	6,7		
2,5	мм	2,2		

Крупный заполнитель представлен гранодиоритовым щебнем месторождения Новосмолинского карьера. Таблица 7 содержит характеристики крупного заполнителя.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		51

Таблица 7 – Характеристики крупного заполнителя Новосмолинского карьера

Показатель	Ед. изм.	Значение	Норматив ГОСТ 8736 [33] ГОСТ 26633 [28]	Соответствие ГОСТ
1	2	3	4	5
Насыпная плотность	кг/м ³	1415	Не нормируется	–
Истинная плотность	кг/м ³	2700	2000 - 2800	Соответствует
Пустотность	%	45,9	–	–
Полные остатки на ситах, %				
5	мм	99,7	90–100	Соответствует
10	мм	72,3	30–80	
20	мм	9,8	< 10	
40	мм	0	Не нормируется	
Содержание отдельных фракций, %				
5 – 10	мм	27,3	25-40	Соответствует
10 – 20	мм	72,3	60-75	
Проход через сито с ячейкой 5 мм	%	0,3	Не нормируется	–
Остаток на сите с ячейкой 2,5 мм после испытания на дробимость	%	9,8	11,3	Соответствует марке по дробимости ДР1400
Содержание зерен лещадной и игловатой формы	%	14	25	2 группа
Содержание зерен слабых пород	%	1,5	Не более 5	–
Содержание пылеватых частиц	%	0,3	1	Соответствует
Содержание естественных радионуклидов	Бк/кг	Не более 370	Не более 370	Соответствует

Также важной характеристикой заполнителей является отсутствие вредных примесей, таких как: диоксид серы, сера и ее соединения, слюдистые включения, уголь и органические примеси и др.

Данные материалы содержат значения, не превышающие значений, указанные в ГОСТ 26633 – 2015 [28].

4. Добавки

Использование в составе суперпластификатора, отражается на свойствах получаемого бетона. В данной работе применялась добавка-суперпластификатор «Полипласт СП-1ВП». Данная добавка увеличивает подвижность, снижает количество воды затворения, увеличивает прочностные характеристики, снижает расход цемента до 15 %. Таблица 8 содержит характеристики используемой добавки.

Таблица 8 – Характеристики продукта «Полипласт СП-1ВП»

Показатель	Характеристика
Наименование добавки	Суперпластификатор «Полипласт СП-1ВП»
Классификация в соответствии с ГОСТ 24211-08	Суперпластифицирующая
Форма выпуска	Порошок или жидкость
Внешний вид	Жидкость коричневого цвета

Добавки уже долгое время находятся в строительной индустрии. Они имеют различный спектр действия. Для исследования морозостойкости бетона используют противоморозные добавки. При выборе добавки необходимо уделять внимание на основу добавки, необходимое количество вводимой добавки и ее эффективность.

Для исследования была взята противоморозная добавка производства Полипласт «Криопласт экстра», свойства которой представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристики продукта «Криопласт экстра»

Показатель	Характеристика
Наименование добавки	Противоморозная добавка «Криопласт экстра» для «холодного» и «теплого» бетонирования
Классификация в соответствии с ГОСТ 24211 – 08	Суперпластифицирующая, противоморозная для «холодного» и «теплого» бетонирования до – 25 °С при испытании через 48 часов после извлечения из морозильной камеры
Форма выпуска	Порошок или жидкость
Внешний вид	Жидкость и порошок коричневого цвета

Составы бетонов для исследования принимали согласно ГОСТ 24211 – 2008, приведены ниже в таблице 10.

Таблица 10 – Состав бетонной смеси для приготовления образцов

Состав	Расход материалов, кг/м ³					
	Цемент	Песок	Щебень	СП-1	ПМД («Криопласт экстра»)	Вода
Без ПМД						
Контрольный	360	850	1030	2,8	–	144
Основной	360	850	1030	2,8	–	144
С ПМД						
Контрольный	360	850	1030	2,8	15	144
Основной	360	850	1030	2,8	15	144

2.2 Методы исследования

Для проведения испытания и оценки полученных результатов о картине исследуемых материалов используют различные методы исследования используемых материалов. Для проведения испытаний использовались стандартные методы, применяемые по различным ГОСТам. В таблице 11 приведены методы испытания компонентов бетонной смеси и количество повторов.

Таблица 11 – Методы испытания

Показатель	Метод испытания	Количество повторов
Свойства цемента		
Истинная плотность цемента	ГОСТ 310.2 [18]	2
Тонкость помола цемента по остатку на сите №008		2
Удельная поверхность цемента		2
Предел прочности при изгибе и сжатии для цемента	ГОСТ 310.4 [20]	2
Зерновой состав и модуль крупности песка	ГОСТ 8735 [22]	2
Содержание в песке глины в комках		2

Окончание таблицы 11

Показатель	Метод испытания	Количество повторов
Нормальная густота	ГОСТ 310.3 [29]	2
Сроки схватывания		2
Свойства песка		
Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц	Мокрого просеивания ГОСТ 8735	2
Насыпная плотность и цемента	ГОСТ 8735	2
Истинная плотность песка	Ускоренный по ГОСТ 8735	2
Пустотность песка	ГОСТ 8735	2
Свойства щебня		
Зерновой состав щебня	ГОСТ 8269.0 – 97 [21]	2
Дробимость щебня		2
Насыпная плотность щебня		2
Истинная плотность щебня		2
Содержание в щебне пылевидных и глинистых частиц		2
Содержание в щебне зерен лещадной и игловатой формы		2
Содержание в щебне зерен слабых пород		2
Свойства бетонной смеси		
Средняя плотность	ГОСТ 10181 [4]	2
Расслаиваемость		2
Сохраняемость подвижности		2
Средняя плотность	ГОСТ 12730.1 [16]	3
Свойства бетона		
Прочность при сжатии	ГОСТ 10180 [3]	3
Плотность	ГОСТ 12730.1 [16]	2
Пористость		2
Свойства и эффективность влияния добавок		
Оценка эффективности противоморозных добавок	ГОСТ 30459 – 2008 [29]	1

2.2.1 Рентгенофазовый анализ (РФА)

Наиболее распространенным и надежным методом исследования фазового состава является рентгенофазовый анализ. Данный метод заключается в том, что рассматривается и анализируется картина, в которой наблюдается отражение атомными плоскостями рентгеновских лучей. Рентгеновское излучение

получается столкновением электронов с металлическим антикатодом под высоким напряжением в рентгенотрубках.

Применение РФА для исследования фазового состава веществ возможно благодаря тому, что длина его волны сопоставима с расстоянием между упорядоченно расположенными атомами в решетки кристаллов, которая для него является естественной дифракционной решеткой. И это является положительным моментом. Сущность рентгеновских методов анализа как раз и заключается в изучении дифракционной картины, получаемой при отражении рентгеновских лучей атомными плоскостями в структуре кристаллов.

Рентгенофазовый анализ характеризуется уравнением (формула 1) Вульфа-Брегга, который объединяет угол падения или отражения θ на атомную плоскость рентгеновского луча с его длиной волны λ и межплоскостным расстоянием d :

$$n = 2d \cdot \sin \theta, \quad (1)$$

где, n – целое число (1,2,3...) , которое определяется как порядок отражения или порядок спектра.

Если лучи отражаются в других направлениях не удовлетворяющие уравнению 1, претерпевают погашение.

РФА очень часто применяют для изучения различных строительных материалов, а именно структуру, свойства и состав. С помощью данного анализа исследуют фазовый состав веществ и материалов, а также качественный и количественный минералогический состав.

Метод РФА обладает универсальностью, объективностью и точностью получаемых значений, способствует решению многих задач. Очень часто используют для проведения исследования метод порошка.

Оборудование для рентгенофазового анализа состоит из двух основных частей – это устройства для генерирования первичных рентгеновских лучей и устройства для регистрации рентгеновских лучей, отраженных от исследуемого материала или прошедших через него.

Рентгеновские аппараты содержат рентгеновские трубки, которые предназначены для получения первичного рентгеновского излучения.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		56

Для регистрации рентгеновских лучей в РФА применяются в основном дифрактометрический – с использованием счетчиков квантов рентгеновского излучения.

Расшифровка рентгенограмм состоит в определении углов отражения и межплоскостных расстояний, которые определяют максимумы дифракционной решетки. Важно оценивать интенсивность пиков. Значения определяются по учебному пособию Горшкова В.С., Тимашева В.В., Савельева В.Г. «Методы физико-химического анализа вяжущих веществ» [24].

В зависимости от значения пика θ и длины волны по табличным значениям определяют d – межплоскостное расстояние.

2.2.2 Термические методы анализа

Существует несколько видов термического анализа применяемых для исследования материалов, а именно: дифференциально-термического анализа (ДТА), термогравиметрического (ТГ), и сочетание выше представленных методов – дифференциально-термогравиметрический (ДТГ).

Метод ДТА основывается на изучении фазовых превращений в материале под действием нагрева.

За счёт протекания в веществе различных процессов происходит выделение или поглощение энергии.

Испытание происходит в сравнении с эталоном вещества. Количество вещества, предназначенное для исследования и эталон должны быть одинаковы по массе. Для проведения исследования на ДТА изготавливают 1-2 г вещества. Необходимо равномерно уплотнять эталон и исследуемое вещество, так как при различном уплотнении, происходит неравномерность и дифференциальная кривая претерпевает изменение.

Термопара осуществляет регистрацию изменения тепла в веществе. Все изменения фиксируются на дифференциальной кривой. Любой физико-химический процесс обычно характеризуется соответствующим интервалом.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		57

Отклонение дифференциальной кривой в зависимости от вида процесса определяется так:

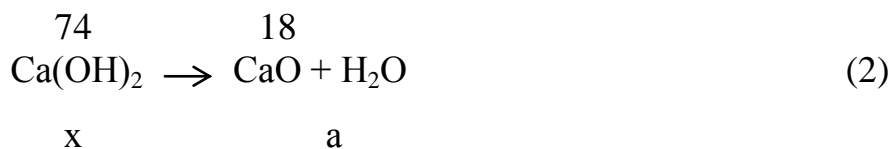
– при экзотермическом процессе отклонение от нулевой линии осуществляется вверх;

– при эндотермическом процессе отклонение – вниз.

Каждый вид имеет свои характерные процессы. Так для эндоэффекта характерно полиморфное превращение вещества, плавление, разложение, стеклование. Экзоэффект же – дегидратация, кристаллизация, окисление и перекристаллизация.

Расшифровка метода ДТА заключается в рассмотрении картины дифференциальной кривой, составляется уравнение реакции и указываются у известных веществ молярные массы, например область температур 470 – 490 °С протекает эндотермическая реакция, соответствующая разложению гидроксида кальция, при которой происходит потеря массы.

Расшифровка дериватографии цементного камня на содержание гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) осуществляется по следующему уравнению реакции 2:



По дифференциальной кривой находится изменение вещества и через пропорцию рассчитывается неизвестное вещество до исследования на ДТА.

Откуда значение X находим из пропорции (3):

$$x = \frac{a \cdot 74}{18} * 100 \% \quad (3)$$

где, x – содержание в цементном камне $\text{Ca}(\text{OH})_2$, %;

a – потеря массы при разложении $\text{Ca}(\text{OH})_2$, за счет отделения воды.

Для изучения фазового состава применяли дериватографический анализ (ДТА) с помощью дериватографа системы «Luxx STA 409» фирмы «Netsch» и рентгенофазовый анализ (РФА), на дифрактометре ДРОН – 3М.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		58

2.2.3 Исследование на сульфатостойкость

Согласно рекомендациям по методам определения коррозионной стойкости бетона определить коррозионную стойкость можно тремя способами:

1. По изменению линейных деформаций.
2. По изменению прочностных характеристик – прочность на изгиб и сжатие.
3. Кинетический метод - по изменению химического состава.

Для проведения данного исследования из сырьевых материалов изготавливают образцы-балочки размерами $2 \times 2 \times 12$ см.

Изготовленные образцы параллельно помещают в две среды: агрессивную и не агрессивную.

Согласно ГОСТ 6709 – 72 [32] в качестве не агрессивной среды принимают питьевую воду. В качестве агрессивной среды принимают раствор сульфата натрия с концентрацией 10 г/л.

Испытания на сульфатостойкость бетона проводят в течение 12 месяцев. Интервал проведения испытания – каждые 2 месяца. При каждом испытании производят полную смену как агрессивной, так и не агрессивной сред. Не допускается корректировать концентрацию агрессивной среды добавлением в раствор сульфата натрия.

При проведении испытания образцы вынимают из сред, обтирают влажной тканью и незамедлительно проводят испытания.

Количество образцов для испытания на изгиб и сжатие – от 3 образцов.

Способ определения сульфатостойкости по относительной деформации основываются на измерении длины образца для каждого срока испытания.

В зависимости от относительной деформации оценивается его сульфатостойкость.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		59

2.2.4 Определение пористости

Пористость (П) – степень заполнения материала порами.

Пористость бывает открытая и закрытая. В данной работе определяется открытая пористость по ГОСТ 12730. – 78 [17]. Объем открытых капиллярных пор бетона в серии образцов Π_0 в процентах определяют по формуле (4):

$$\Pi_0 = W_0, \quad (4)$$

где, W_0 – объемное водопоглощение бетона в серии образцов.

Водопоглощение – это способность материала впитывать и удерживать в порах воду. Определяют водопоглощение по массе и объему.

Водопоглощение по массе $W_m(\%)$ вычисляют по формуле (5)

$$W_m = \frac{m_n - m_c}{m_c} * 100\%, \quad (5)$$

где, m_n – масса насыщенного водой образца, г; m_c – масса сухого образца, г.

Пористость определяют на образцах, оставшихся после испытания на прочность. В первую очередь образцы помещают в воду для насыщения, после некоторого времени нахождения в воде, образцы вынимают из воды, обмакивают в слегка влажной материи и проводят взвешивание образцов на весах. Затем образцы высушивают в сушильном шкафу. Далее образцы взвешивают на весах и по формуле (5) производят расчет пористости бетона.

2.2.5 Исследование на морозостойкость

Согласно ГОСТ 10060-2012 морозостойкость бетона – это его способность в водонасыщенном или насыщенном раствором соли состоянии выдерживать многократное замораживание и оттаивание без внешних признаков разрушения (трещин, сколов, шелушения ребер образцов), снижения прочности, изменения массы и других технических характеристик [26].

Образцы для определения морозостойкости изготавливают по всем трем методам согласно ГОСТ 10060 – 2012 с размерами 100*100*100 или 150*150*150 мм. Число образцов для серии испытаний принимают от 6 до 12 шт. Выделяют контрольные и основные образцы.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		60

Контрольные образцы бетона перед испытанием на прочность, а основные образцы перед замораживанием насыщают водой или 5%-ным водным раствором хлорида натрия температурой $(20\pm 2)^\circ\text{C}$.

Для насыщения образцы погружают в воду или раствор хлорида натрия на $1/3$ их высоты на 24 ч, затем уровень воды или раствора повышают до $2/3$ высоты образцов и выдерживают в таком состоянии еще 24 ч, после чего образцы полностью погружают в воду или раствор на 48 ч так, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее чем на 20 мм.

Число циклов испытания основных образцов бетона в течение одних суток должно быть не менее 1. Испытания следует вести непрерывно. При вынужденных перерывах в испытании образцы должны храниться в замороженном состоянии в морозильной камере или в специальном холодильнике при температуре не выше минус 10°C : при испытании по первому и второму методам образцы следует хранить укрытыми влажной тканью для защиты от высыхания, при испытании по третьему методу – в 5%-ном водном растворе хлорида натрия.

Соотношение между числом циклов испытаний и маркой бетона по морозостойкости принимают по таблице 20 [Приложение 1].

Испытания проводились по третьему ускоренному методу определения морозостойкости бетона.

При испытании по третьему ускоренному методу для насыщения, замораживания и оттаивания образцов применяют водный раствор хлорида натрия (см. таблицу 2).

Применяемое оборудование для проведения испытаний

Оборудование для изготовления, хранения и испытания на прочность образцов бетона – по ГОСТ 10180.

Морозильная камера должна обеспечивать достижение и поддержание температуры воздуха минус $(50\pm 2)^\circ\text{C}$. Неравномерность температурного поля в воздухе полезного объема камеры не должна превышать 3°C .

Ванна для насыщения образцов водой температурой $(20\pm 2)^\circ\text{C}$.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		61

Ванна для оттаивания образцов, оборудованная устройством, обеспечивающим поддержание температуры воды $(20\pm 2)^\circ\text{C}$.

Деревянные подкладки треугольного сечения высотой 50 мм.

Лабораторные весы по ГОСТ 24104 с погрешностью взвешивания ± 1 г.

Сетчатый контейнер для размещения основных образцов.

Сетчатый стеллаж для размещения образцов в морозильной камере.

Насыщенные водой контрольные образцы извлекают из воды, обтирают влажной тканью и испытывают на сжатие.

Рассчитывают внутрисерийный коэффициент вариации прочности. Серию образцов, внутрисерийный коэффициент вариации прочности которых превышает 9%, снимают с испытаний и проводят испытания новой серии образцов.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		62

3 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

3.1 Формирование структуры и прочности бетона твердевшего в нормальных условиях после замораживания

При строительстве в зимнее время очень важно знать, как происходит набор прочности изготавливаемых конструкций, особенно при использовании «холодных» бетонов.

Известно, что получение 30 и более процентов марочной прочности необходимо в первые сутки после оттаивания бетона, и иметь информацию о том, когда прочность бетона достигнет проектного значения.

Для решения данной задачи были произведены испытания по оценке динамики набора прочности бетона в процессе оттаивания после замораживания образцов в течение 28 суток при отрицательной температуре. Составы бетонных смесей приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Составы бетона для определения темпов набора прочности

Материал	Расход материалов кг/м ³	
Цемент	360	
Песок	850	
Щебень	1030	
ПМД	15	
Вода	144	162

Для сравнения указанных составов были также изготовлены контрольные образцы без противоморозных добавок, не подвергавшиеся замораживанию и твердевшие в нормальных условиях. Для изготовления контрольных образцов применяли бетонные смеси с расходом материалов, указанных в таблице 13 без противоморозной добавки и с таким же водоцементным соотношением.

Таблица 13 – Значение показателей предела прочности при сжатии контрольных составов

№ образца	В/Ц	Значение	
		Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа
1	0,4	2450	34,6
2		2458	35,1
3		2452	35,4
4	0,45	2348	33,8
5		2351	33,3
6		2355	33,4

При проведении строительных работ на строительной площадке важным условием является достижение требуемой прочности бетона в кратчайшие сроки.

Таким же образом важно знать скорость набора прочности бетоном в процессе оттаивания. Так как при низких отрицательных температурах дополнительный деструктивный процесс происходит при кристаллизации воды в бетоне, то может возникнуть ситуация, когда оттаявший бетон не наберет требуемую прочность, а раннее его нагружение приведет к разрушению конструкций

В таблице 14 представлены результаты динамики набора прочности при сжатии бетонами (с различным водоцементным отношением), выдержанных при температуре – 25 °С 28 суток, а затем помещенных в камеру нормального твердения.

Таблица 14 – Динамика набора прочности бетона после размораживания и твердения в нормальных условиях

№ образца	Характеристика	Значение показателей после оттаивания образцов, суток					
		1	2	3	7	28	60
3	Прочность	7,3	16,1	24,3	28,4	30,2	48,4
4	Прочность	6,9	14,8	21,4	26,1	28,9	43,9

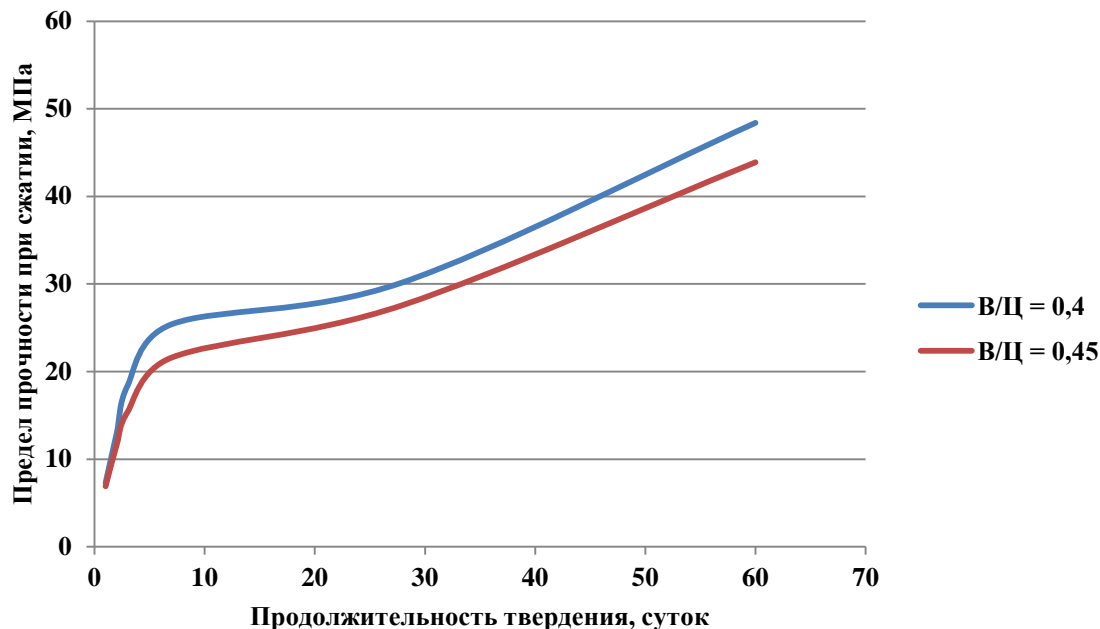


Рисунок 2 – Динамика набора прочности бетонных образцов после оттаивания и твердения в нормальных условиях

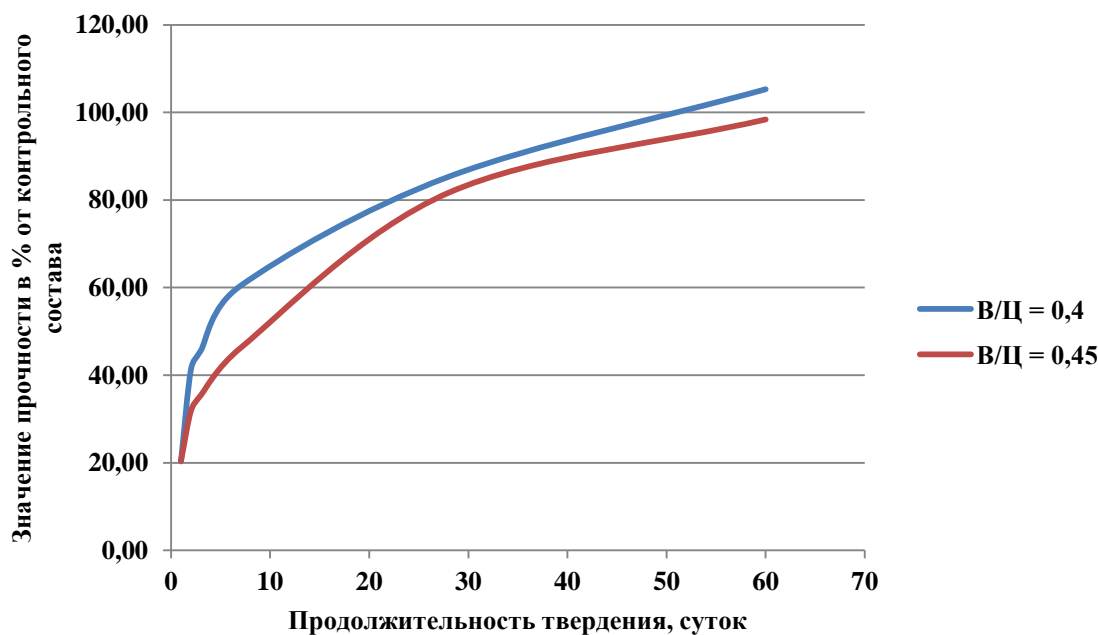


Рисунок 3 – Динамика набора прочности бетонных образцов после оттаивания при твердении в нормальных условиях

Полученные данные можно сравнить со значениями предела прочности при сжатии контрольных образцов (без противоморозной добавки и не подвергавшихся замораживанию). За 100 % были приняты значения прочности образцов в возрасте 28 суток нормального твердения. Исходя из данных диаграммы установлено, что вне зависимости от соотношения В/Ц конечная

прочность бетона (в возрасте 28 суток нормального твердения), подвергаемого замораживанию после формирования, находится на уровне 80 – 85 % от контрольных составов (твердеющих в нормальных условиях без предварительного замораживания).

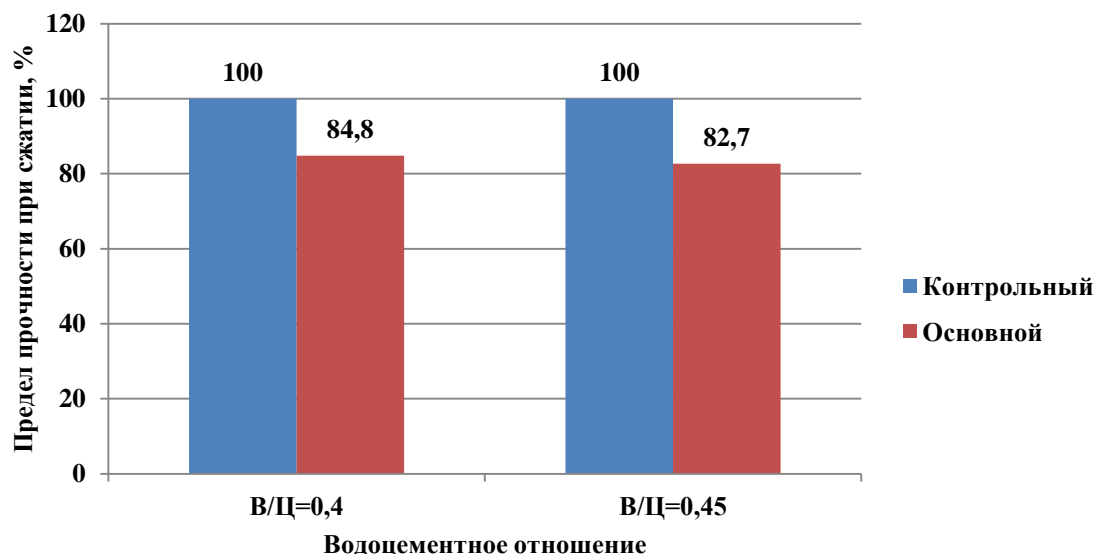


Рисунок 4 – Сравнение предела прочности при сжатии составов, подвергавшихся предварительному замораживанию и твердевших в нормальных условиях до 28 суток по сравнению с контрольными

В ходе расшифровки результатов рентгенофазового и дериватографического анализов, установлен ряд зависимостей (результаты приведены в таблице 15).

При твердении бетонов в нормальных условиях, образуются различные гидросиликаты кальция. Так, в составе без противоморозной добавки образуются как C–S–H(II), так и C–S–H(I) фаза гидросиликата кальция, в то время как в бетоне с противоморозной добавкой компонента образуется в основном C–S–H(II) фаза.

Везде есть гидроксид кальция. На этот факт указывает экзоэффект на дериватограмме бетона с противоморозной добавкой в области 825 °С, а также характер кривой потерь в области 100 – 200 °С.

В составе с противоморозной добавкой отмечено присутствие большего содержания гидроксида кальция, что может свидетельствовать о содержании

противоморозной добавке компонента–ускорителя, который активизирует в основном процесс растворения и диссоциации C_3S и $\beta - C_2S$, что подтверждается увеличением прочности (в ранние сроки твердения) образцов с данной добавкой по сравнению с контрольным составом.

Таблица 15 – Результаты исследований ДТА цементного камня бетона с В/Ц = 0,4

Условие твердения	$Ca(OH)_2$	W х.с.
После замораживания	14,90	15,6
Нормальное твердение	10,28	16,1

При сравнении вышеуказанных составов, твердевших 28 суток в нормальных условиях после предварительного выдерживания при температуре минус 25 °С также наблюдается закономерность в образовании различных гидросиликатных фаз. Так, на рисунке (рисунок 17, приложение 2) видно, что бетон, содержащий в составе противоморозную добавку, содержит гидросиликаты C–S–H (II), а также смесь геля кремнезема с C–S–H (I) фазой. Цементный камень бездобавочного состава состоит из гидросиликатов кальция C–S–H (II) фазы. В данных составах наблюдается увеличение содержания свободного гидроксида кальция практически в два раза по сравнению с образцами не подвергавшихся замораживанию.

3.2 Исследование влияния противоморозной добавки на сульфатостойкость цементного камня

Для изучения сульфатостойкости были изготовлены цементно-песчаные образцы с В/Ц=0,4 по требованиям представленными в ГОСТ Р 56687 – 2015 [34]. Данный ГОСТ содержит методы определения сульфатостойкости бетона. Образцы изготавливались размером 25*25*160 мм.

Испытания проводили в 28 суток, и в дальнейшем через каждые 2 месяца.

Для изучения сульфатостойкости и морозостойкости исследуемых образцов определяли прочность при изгибе и сжатии, пористость, изменение фазового состава по содержанию $Ca(OH)_2$, химически связанной воды.

3.2.1 Определение коэффициента стойкости исследуемых материалов

Сульфатостойкость материала оценивают по коэффициенту стойкости (K_c), для этого находят отношение прочности образцов хранившихся в сульфатах к прочности образцов хранившихся в воде.

Исследования проводятся на образцах, твердевших до 28 суток в нормальных условиях и образцах твердевших в нормальных условиях после предварительного замораживания в течение 10 суток.

Определение коэффициента стойкости по значениям прочности при сжатии материала представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Изменение $R_{сж}$ и K_c

Период	Нормальное твердение			Твердение после предварительного замораживания		
	$R_{сж}$ хранение в воде	$R_{сж}$ хранение в сульфатах	K_c	$R_{сж}$ хранение в воде	$R_{сж}$ хранение в сульфатах	K_c
2 месяца	38,7	40,9	1,06	25,5	29,4	1,15
4 месяца	40,1	37,1	0,925	26,2	32,2	1,23
6 месяцев	55,3	49,9	0,902	34,6	34,6	1,0
8 месяцев	53,6	34,6	0,646	26,9	24,1	0,895
10 месяцев	48,1	26,3	0,546	20,6	17,5	0,849
12 месяцев	43,6	22,8	0,522	17,9	13,1	0,731

Анализ изменения прочности образцов при сжатии твердевших в нормальных условиях до 12 месяцев испытаний представлен на рисунке 5. Из полученных результатов следует, на начальной стадии испытаний до 6 месяцев, прочность образцов контрольного состава, хранившегося в воде и испытываемых в сульфатах возрастает (по данным таблицы 16).

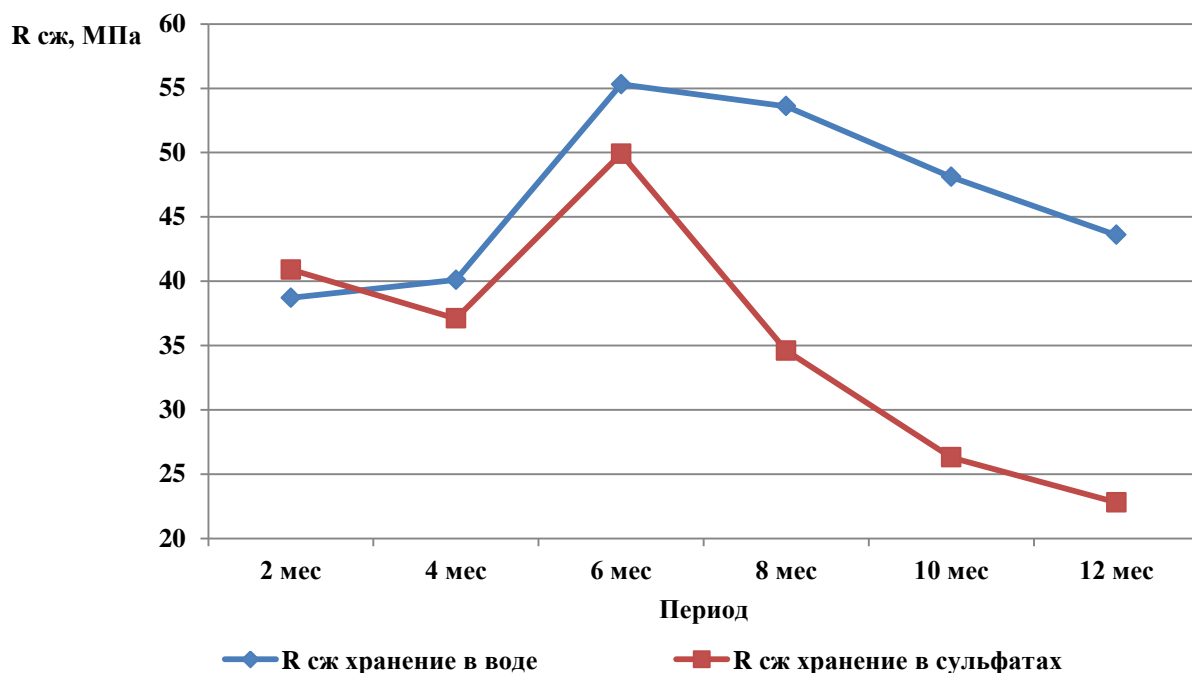


Рисунок 5 – Изменение прочности при сжатии образцов твердевших в нормальных условиях

После чего, к 8 месяцам испытаний коэффициент стойкости, определенный отношением $R_{сж \text{ сульф}} / R_{сж \text{ вод}}$ активно снижается. Для образцов, хранившихся в воде, наблюдается постепенное снижение прочности, за счет выщелачивания. В образцах, хранившихся в сульфатах, наблюдается активное снижение прочностных характеристик и соответственно коэффициентов стойкости. Из чего можно сделать вывод, что данный цемент является не сульфатостойким, так как в нем наблюдается развитие коррозионных процессов.

Исследования цементно-песчаных образцов прошедших предварительное замораживание содержащих в составе противоморозную добавку показывает аналогичные результаты. Следовательно, рассматривая коэффициент стойкости, который снижается, можно сделать вывод, что данный цемент является не сульфатостойким (рисунок 5).

Исследование цементно-песчаных образцов, содержащих в составе противоморозную добавку и прошедших предварительное замораживание, выявило также их низкую сульфатостойкость.

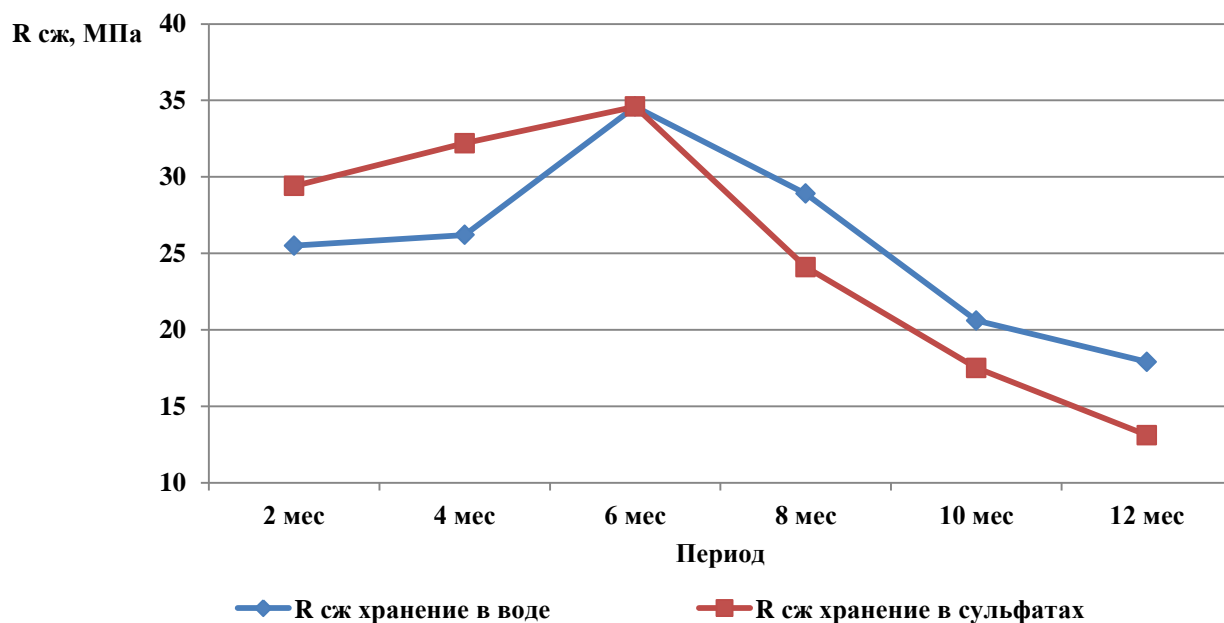


Рисунок 6 – Изменение прочности при сжатии образцов твердевших после предварительного замораживания

Из чего следует, что предварительно замороженные образцы также низкосульфатостойкие, так как они не выдерживают воздействия более 6 месяцев.

На рисунке 2 наблюдается точка, где прочность при сжатии претерпевает снижение, что говорит о том, что после 6 месяцев испытаний, данные образцы являются не сульфатостойкими. У образцов, твердевших в воде, отмечено вымывание извести и увеличение пористости.

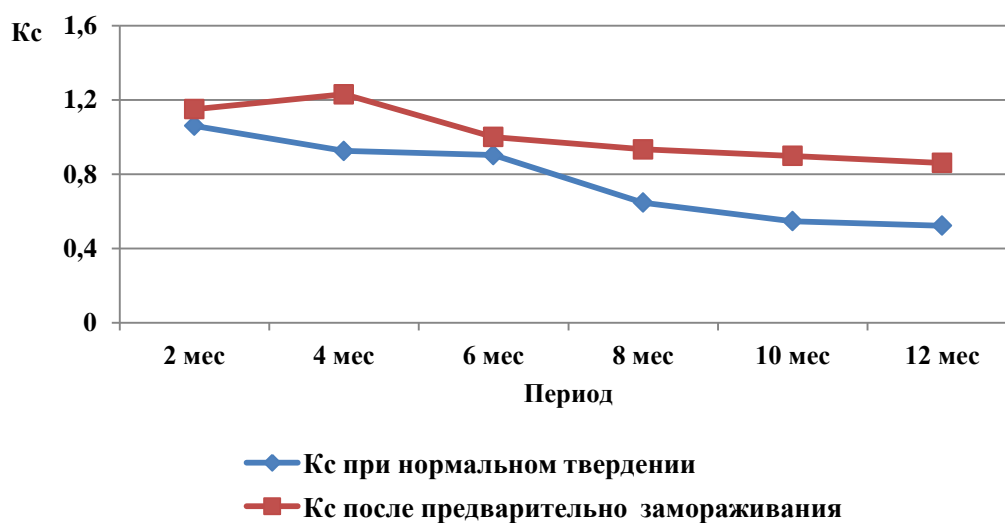


Рисунок 7 – Изменение Kс к сульфатам образцов твердевших в нормальных условиях и предварительно замороженных до $(-20)^{\circ}\text{C}$.

Проведенные расчеты по определению коэффициента стойкости при сжатии свидетельствуют тому, что коэффициенты стойкости имеют одинаковую тенденцию к изменению.

Определение коэффициента стойкости по значениям прочности при изгибе материала представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Изменение $R_{изг}$ и K_c исследуемых образцов цементного камня при их испытании на сульфатостойкость.

Период	Нормальное твердение			После предварительного замораживания		
	R изг хранение в воде	R изг хранение в сульфатах	K_c	R изг хранение в воде	R изг хранение в сульфатах	K_c
2 месяца	2,61	2,59	0,992	2,3	1,94	0,843
4 месяца	2,45	3,19	1,302	2,7	2,56	0,948
6 месяцев	2,5	3,2	1,280	3,1	2,8	0,903
8 месяцев	2,6	2,85	1,038	2,8	2,74	0,979
10 месяцев	2,71	2,68	0,989	2,8	2,63	0,939
12 месяцев	3,2	2,5	0,781	2,6	2,4	0,923

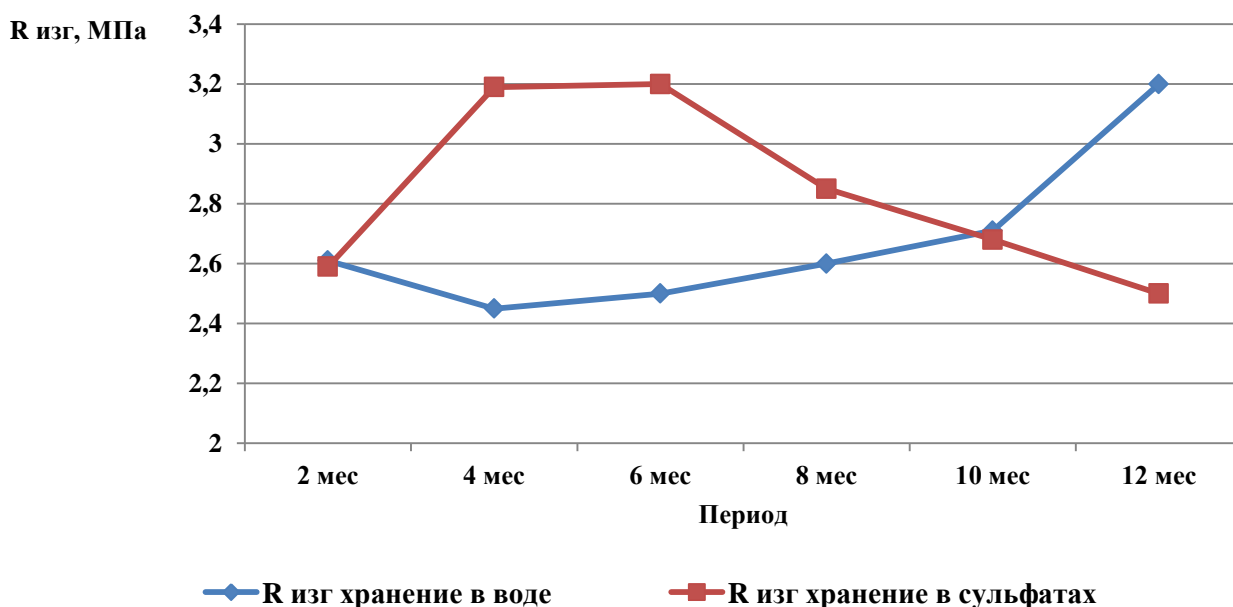


Рисунок 8 – Изменение прочности при изгибе, образцов твердевших до испытания на сульфатостойкость в нормальных условиях

Изменение прочности при изгибе позволяет выявить, что у образцов, находившихся в воде, наблюдается повышение прочности при изгибе, вследствие уплотнения бетона за счет гидратации. Образцы, хранившиеся в сульфатах, в течение 6 месяцев набирают прочность за счет дополнительного образования в порах этtringита. После 6 месяцев, претерпевают снижение прочности при изгибе, за счет увеличения объема пор в цементном камне вследствие выщелачивания гидроксида кальция и разложения этtringита.

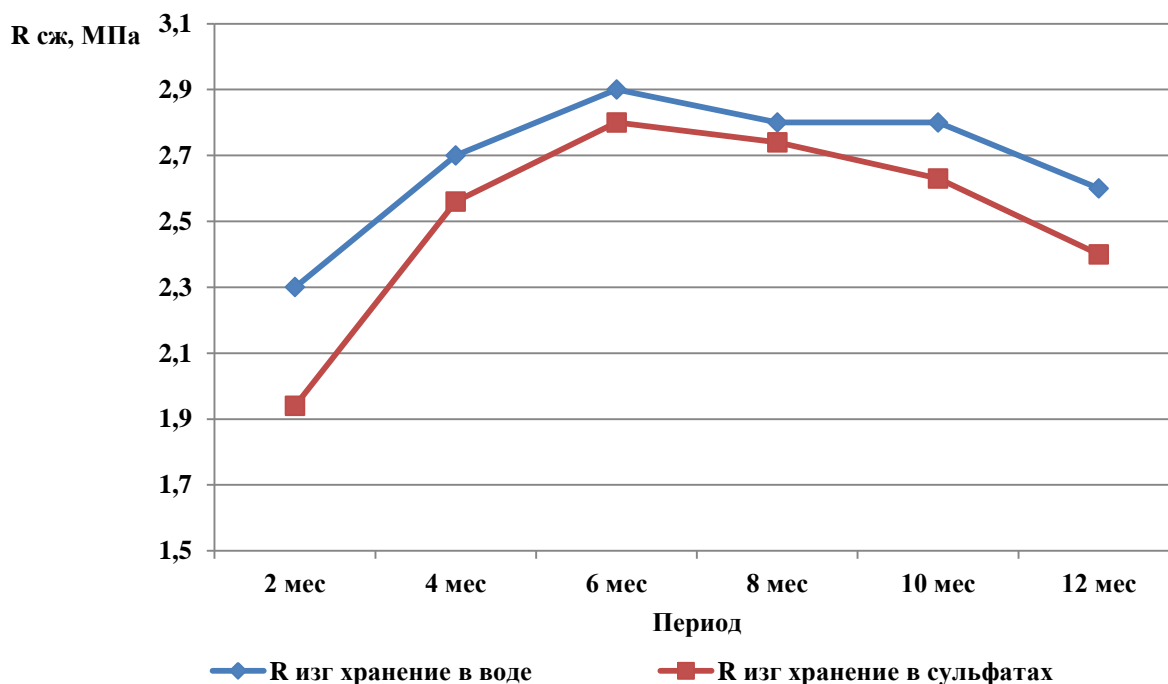


Рисунок 9 – Изменения прочности при изгибе предварительно замороженных образцов при выдерживании в сульфатах и воде

Изменение прочности при изгибе предварительно замороженных образцов, позволяет выявить, что образцы, в начальный период, до 6 месяцев, образцы контрольные и исследуемые, равномерно набирают прочность за счет гидратации. Ближе к 7 месяцам наблюдается снижение прочности за счет выщелачивания и образования пор. Дальнейшее снижение прочности связано с одновременно протекающими процессами взаимодействием гидроксида кальция с сульфатами и его выщелачиванием.

3.2.2 Влияние сульфатной среды на фазовый состав цементного камня

При проведении исследования получены данные по количеству гидроксида кальция и химически связанной воды. Данные представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и $W_{\text{х.св}}$ в исследуемых образцах

	Нормальное твердение				После предварительного замораживания			
	$\text{Ca}(\text{OH})_2$, % хранение в воде	$\text{Ca}(\text{OH})_2$, % хранение в сульфатах	$W_{\text{х.св}}$ хранение в сульфатах	$W_{\text{х.св}}$ хранение в воде	$\text{Ca}(\text{OH})_2$, % хранение в воде	$\text{Ca}(\text{OH})_2$, % хранение в сульфатах	$W_{\text{х.св}}$ хранение в сульфатах	$W_{\text{х.св}}$ хранение в воде
28 сут	11,1	–	–	10,2	8,92	–	–	10
2 мес	12,33	9,04	13,9	15,9	14,8	13,15	14,2	14,5
4 мес	13,28	11,61	15,8	16,1	14,9	13,27	15,3	15,9
6 мес	12,54	12,05	17,9	18,4	14,74	12,68	16,4	19,5
8 мес	11,80	12,5	19,2	19,8	14,51	12,33	17,9	21,1
10 мес	10,68	12,33	20,0	19,9	14,36	13,09	21,0	20,6
12 мес	9,85	12,33	18,3	18,8	13,94	13,57	19,9	17,7

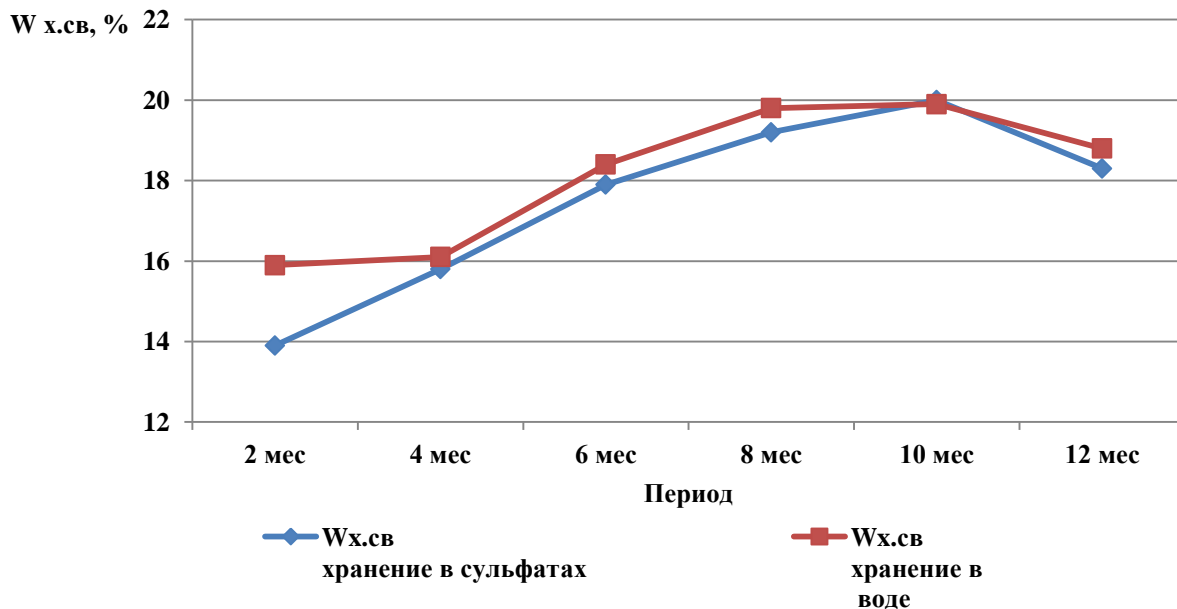


Рисунок 10 – Особенности изменения $W_{\text{х.св}}$ при нормальном твердении

Из зависимостей, помещенных на рисунке 10, видно, что хранение образцов до 10 месяцев, как в воде, так и в сульфатах способствует увеличению химически связанной воды, а в последующем, вероятно за счет перекристаллизации, наблюдается ее снижение.

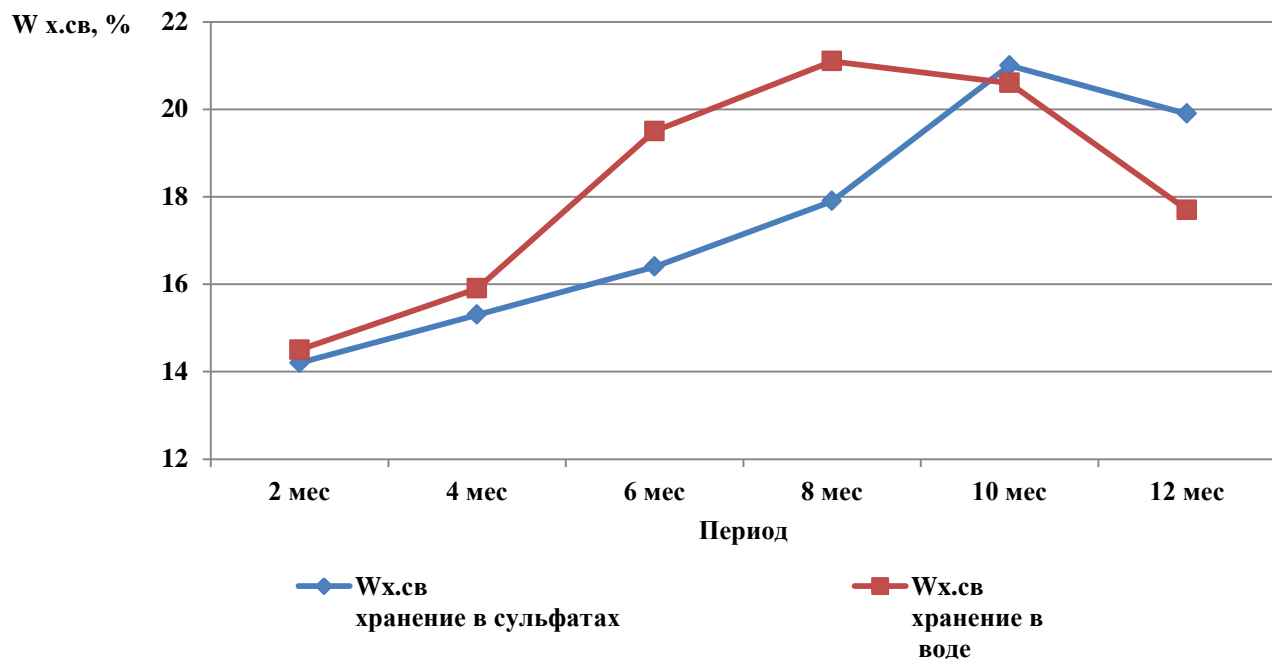


Рисунок 11 – Изменения $W_{x.cb}$ в предварительно замороженных образцах до 14 месяцев испытания в воде и сульфатах

Изменение химически связанной воды в образцах, хранившихся как в воде, так и сульфатах имеет похожий характер изменения содержания в цементном камне химически связанной воды. Из полученных на рисунке 11 зависимостей следует, что в период от 8 до 10 мес. переход вещества в цементном камне в более закристаллизованное состояние. В образцах, хранившихся в воде происходит выщелачивание и переход гидросиликатов из аморфного состояния в закристаллизованное. А в образцах, находящихся в сульфатной среде, снижение $W_{x.cb}$ связано с образованием в цементном камне гипса.

Изменение содержания гидроксида кальция у образцов нормального твердения представлено на рисунке 12.

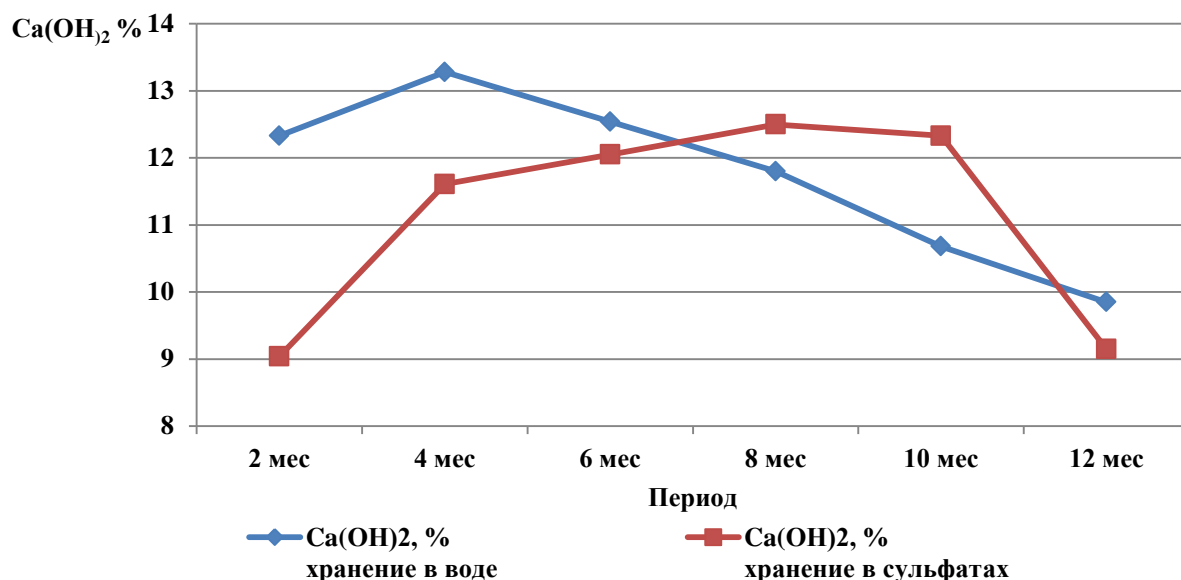


Рисунок 12 – Изменение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при твердении в нормальных условиях

Образцы, хранившиеся в воде, в первые 4 месяца увеличивают количество гидроксида кальция, а в дальнейшем происходит его выщелачивание и наблюдается постепенное снижение $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

В образцах, хранившихся в сульфатах, рост количества гидроксида кальция наблюдается до 8 месяцев испытаний. В дальнейшем наблюдается снижение его количества, что связано с образованием в этот период в цементном камне гипса

Изменение содержания гидроксида кальция у образцов предварительно замороженных представлено на рисунке 13.

Изменение содержания в цементном камне предварительно замороженных образцов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ как в воде, так и в сульфатах имеет одинаковый характер, но по данным РФА в воде происходит его выщелачивание, а в сульфатах – в структуре камня формируется гипс. Таким образом, введение в цемент противоморозных добавок и раннее замораживание цементных бетонов не обеспечивают им высокой сульфатостойкости.

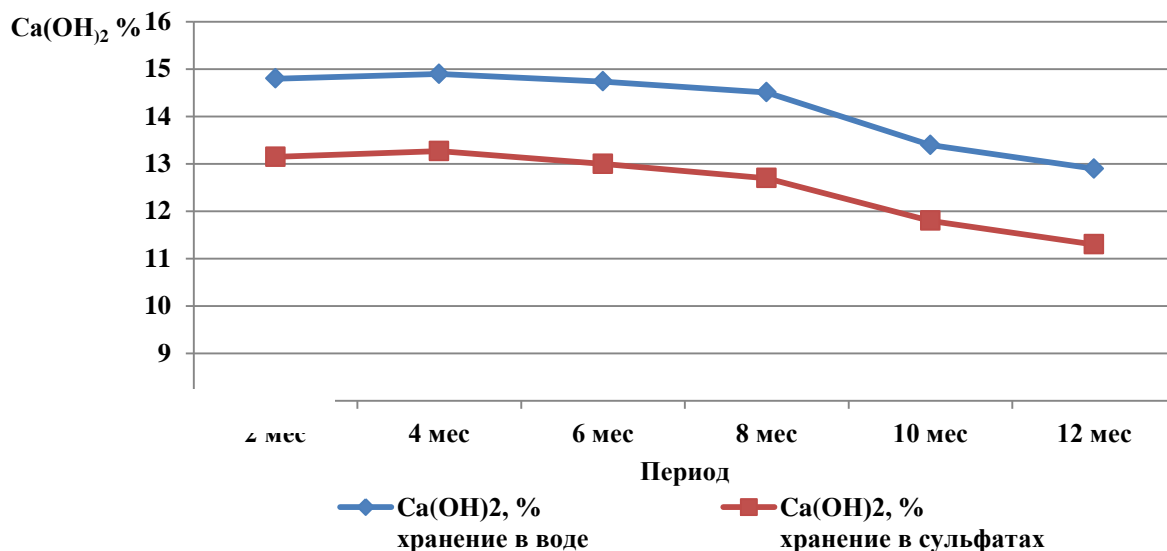


Рисунок 13 – Изменение содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в предварительно замороженном цементном камне при дальнейшем твердении в воде и в сульфатах

3.3 Изучение влияния ПМД на морозостойкость бетонов

Изучение влияния противоморозных добавок на морозостойкость, изготавливали образцы бетона и проводили их испытание на морозостойкость согласно ГОСТ 10060 – 2012 [26]. Для этого были изготовлены два вида образцов: первый вид – «холодный бетон» содержащий в своем составе противоморозную добавку производства Полипласт и второй – не содержал ПМД и твердел в «нормальных» условиях. Были отобраны контрольные и основные образцы.

Образцов для проведения испытаний формовали с размерами 100*100*100 мм.

Согласно ГОСТ 10060 – 2012 проводят обработку прочности контрольных и основных образцов по установленному порядку.

1. Полученные прочности записывают в таблицу.
2. Находят среднее значение прочности образцов по формуле 6.

$$X_{\text{ср}} = \frac{\sum X_i}{n}, \quad (6)$$

где, X_i – прочность одного образца, МПа;

n – число образцов.

3. Рассчитывают среднеквадратичное отклонение по формуле 7.

$$\sigma_n = \frac{W_m}{\alpha} \quad (7)$$

где, W_m – размах единичных значений прочности бетона в серии, определяемый как разность между максимальным и минимальным единичными значениями прочности, МПа;

α – коэффициент, зависящий от числа единичных значений прочности бетона в серии.

4. По табличным значениям коэффициента Стьюдента рассчитывают коэффициент вариации.

5. Определяют нижнюю и верхнюю границу интервалов.

6. Образцы считают выдержавшими испытание на морозостойкость, если соблюдается соотношение согласно формуле 8:

$$X_{\min}^{\text{II}} \geq 0,9 X_{\min}^{\text{I}}, \quad (8)$$

где, X_{\min}^{II} – нижняя граница доверительного интервала основного образца;

X_{\min}^{I} – нижняя граница доверительного интервала контрольного образца.

По полученным значениям прочности рассчитаем дополнительные параметры. Рассчитанные значения содержатся в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет бетонных образцов на морозостойкость

Вид бетона	Прочность образцов		$X_{\text{ср}}$	W_m	σ_n	Границы доверительного интервала	
	Контр.	Осн.				X_{\min}^{I}	X_{\min}^{II}
«Холодный» бетон	25,4	-	25,95	1,0	0,4	24,922	22,027
	27,6						
	24,4						
	23,2						
	26,7						
	28,4						

Окончание таблицы 19

Вид бетона	Прочность образцов		Хср	Wm	σп	Границы доверительного интервала	
	Контр.	Осн.				X min I	X min II
	-	23,5	22,85	0,8	0,32		
		23,3					
		22,1					
		24,7					
		22,5					
		21,0					
Бетон без предварительного замораживания и ПДМ	36,5	-	36,15	0,8	0,32	35,327	33,316
	36,9						
	35,7						
	37,2						
	35,4						
	36,2						
	-	35,8	33,93	0,6	0,24		
		34,7					
		33,8					
		34,7					
		35,1					
		34,5					

Условие, которое содержится в формуле 8, для «холодного» бетона имело ограничение на 4 циклах замораживания и оттаивания. Для бетона без предварительного замораживания и ПДМ условие, при котором образец выдержал цикл замораживания и оттаивания составляет – 5 циклов.

Морозостойкость оценивается максимально возможным количеством циклов попеременного оттаивания и замораживания. При этом должны сохраняться основные характеристики бетона в нормативных пределах, отсутствовать трещины и сколы, а так же шелушение.

При снижении значений основных характеристик ниже нормативных пределов, испытания прекращаются, и по таблице 16 определяется число циклов.

Особо внимание необходимо уделить шелушению ребер. Если шелушение появилось на стенках ребер, испытания прекращают, и прошедшее количество циклов принимают за морозостойкость. На рис 11 представлены результаты испытания морозостойкости принятых к испытанию бетонов.

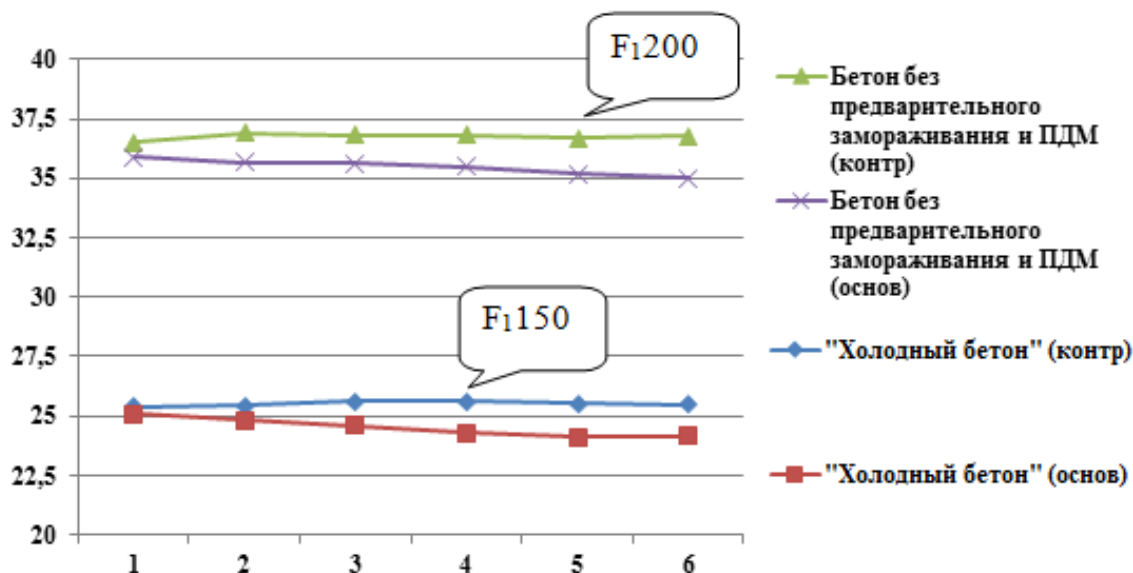


Рисунок 14 – Испытание на морозостойкость

Согласно данным, проведенных испытаний, количество циклов попеременного оттаивания и замораживания «холодного бетона» равно 4 циклам. При данном количестве циклов наблюдается шелушение на стенках образца и не выполнения условия формулы 8, что по таблице 20 (Приложение 1) соответствует марке по морозостойкости F₁₅₀.

Результаты испытания бетона без предварительного замораживания и ПДМ соответствует 5 циклам замораживания и оттаивания, что по таблице 20 (Приложение 1) имеет марку по морозостойкости F₁₂₀₀.

Следовательно, применение предварительного замораживания бетона снижает морозостойкость.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Установлено, что при отрицательной температуре гидратация цемента прекращается. В результате предварительно замороженный бетон к 28 суткам твердения в нормальных условиях не достигает марочной прочности. Она как правило на 20 % ниже, чем в бетонах нормального твердения.

2. Исследование гидратных фаз цементного камня показало, что все образцы состоят из высокоосновных силикатов кальция, при этом в цементном камне предварительно замороженных образцов содержание гидроксида кальция увеличивается на 20-30%.

3. Исследование цементов твердевших в нормальных условиях и с предварительным замораживанием показало, что они оба являются не сульфатостойкими.

4. При исследовании влияния предварительного замораживания на морозостойкость, установлено, что применение ПМД с предварительным замораживанием способствует снижению морозостойкости.

5. Использование противоморозных добавок с предварительным замораживанием образцов приводит к снижению в марочном возрасте прочностных характеристик, морозостойкости и стойкости к агрессивным воздействиям сульфатов.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		80

4 РАСЧЕТ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Как указывалось ранее, в технологии строительства в зимний период существуют способы бетонирования. Наиболее популярным способом является метод прогрева бетона с помощью электропроводов, помещенных в конструкцию. Плюсом данного метода является равномерный прогрев конструкции и возможность регулирования во время прогрева температуры.

Метод электропрогрева заключается в укладке электропроводов при укладке бетонной смеси в опалубку конструкции. Провода применяют стальные, диаметр от 1 мм до 2 мм в изоляции. Изоляция в основном используется полиэтиленовая или поливинилхлоридная.

За счет сопротивления металла при прохождении через него сильного тока провода выделяют тепло, а благодаря изоляции проводов электропроводность бетона и наличие арматуры не влияют на ход прогрева.

Такой метод часто применяют для конструкции имеющих модуль поверхности не меньше 5. Модуль поверхности это отношение площади поверхности к объему конструкции.

Согласно литературным источникам на 1 м³ бетона используют:

- Электропровод – 60 м;
- Трудозатраты на укладку проводов в конструкцию – 0,95 чел/час;
- При производстве прогрева – 4,8 кВт/час.

Суммарные затраты на осуществление прогрева 1 м³ бетона рассчитаем по формуле 9.

$$\sum\Pi = L_{\text{п}} \cdot \text{Ц}_{\text{п}} + T_{\text{р}} \cdot \text{Ц}_{\text{р}} + P_{\text{э/э}} \cdot T_{\text{п}} \cdot \text{Ц}_{\text{э/э}}, \quad (9)$$

Где, $L_{\text{п}}$ – длина электропровода, м;

$T_{\text{р}}$ – трудоемкость укладки электропровода в конструкцию, чел/час;

$P_{\text{э/э}}$ – расход электроэнергии на прогрев, кВт/час;

$\text{Ц}_{\text{п}}$ – цена на электропровода, руб.;

$\text{Ц}_{\text{р}}$ – стоимость осуществления укладки электропроводов, руб/м³

$\text{Ц}_{\text{э/э}}$ – стоимость электроэнергии за 1 кВт, руб.

$T_{\text{п}}$ – время изотермической выдержки бетона, час.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		81

Согласно формуле 6 суммарные затраты на укладку электропроводов на 1 м³ бетонной смеси:

$$\Sigma\Pi = 60 \cdot 2 + 0,95 \cdot 200 + 4,8 \cdot 72 \cdot 3,19 = 120 + 190 + 1102 = 1412 \text{ руб.},$$

Однако, если отказаться от прогрева бетонной конструкции, а использовать при получении бетонной смеси противоморозной добавки, можно получить другие результаты.

В зависимости от температуры окружающей среды в зимнее время производители добавок определяют расход противоморозной добавки в пределах 1 – 5 % от массы использованного цемента. Так как при производстве 1 м³ бетона использованного для проведения испытания цемент содержался в количестве 360 кг, рассчитаем диапазон стоимости по формуле 10.

$$\Sigma Д = P_{ц} \cdot P_{д} \cdot Ц_{д}, \quad (10)$$

где $P_{ц}$ – расход цемента, кг;

$P_{д}$ – расход добавки, % от массы цемента;

$Ц_{д}$ – цена на добавку, руб.

Средняя стоимость исследуемых противоморозных добавок около 70 рублей за килограмм.

$$\Sigma Д = 360 \cdot 0,01 \cdot 40 = 252 \text{ рублей}$$

$$\Sigma Д_{\text{макс}} = 450 \cdot 0,05 \cdot 40 = 1575 \text{ рублей}$$

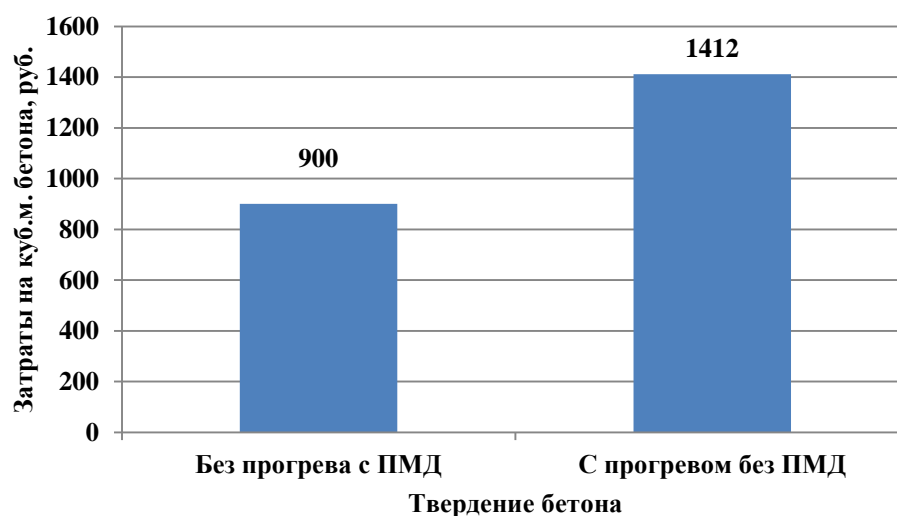


Рисунок 15 – Сравнение стоимости затрат 1 куб. метр бетона в зависимости от способа твердения бетона

Таким образом, при отказе от термообработки с использованием противоморозной добавки можно достичь экономии около 35 %, при этом существует противоречие.

Так как отказ от термообработки и бетонирование конструкции «в заморозку» растягивает сроки строительства, а также может повлиять на долговечность конструкции, Исходя из этого можно использовать добавки с электропрогревом оценить снижение затрат на прогрев в конструкции с использованием противоморозных добавок за счет быстрого набора прочности и уменьшения времени прогрева (в среднем, конструкцию прогревают до достижения ей 70 % от проектной прочности).

Оптимальная дозировка добавки при использовании «теплого» бетона – 2 %, при среднем расходе цемента 360 кг/м³:

$$\Sigma Д \text{ теплый} = 360 \cdot 0,02 \cdot 40 = 288 \text{ рублей}$$

При таком расходе добавки бетон наберет необходимую прочность через 48 часов, а затраты соответственно составят:

$$\Sigma П \text{ теплый} = 60 \cdot 2 + 0,95 \cdot 200 + 4,8 \cdot 48 \cdot 3,19 = 120 + 190 + 735 = 1045 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты составляют:

$$\Sigma З \text{ теплый} = 288 + 1045 = 1333 \text{ руб.}$$

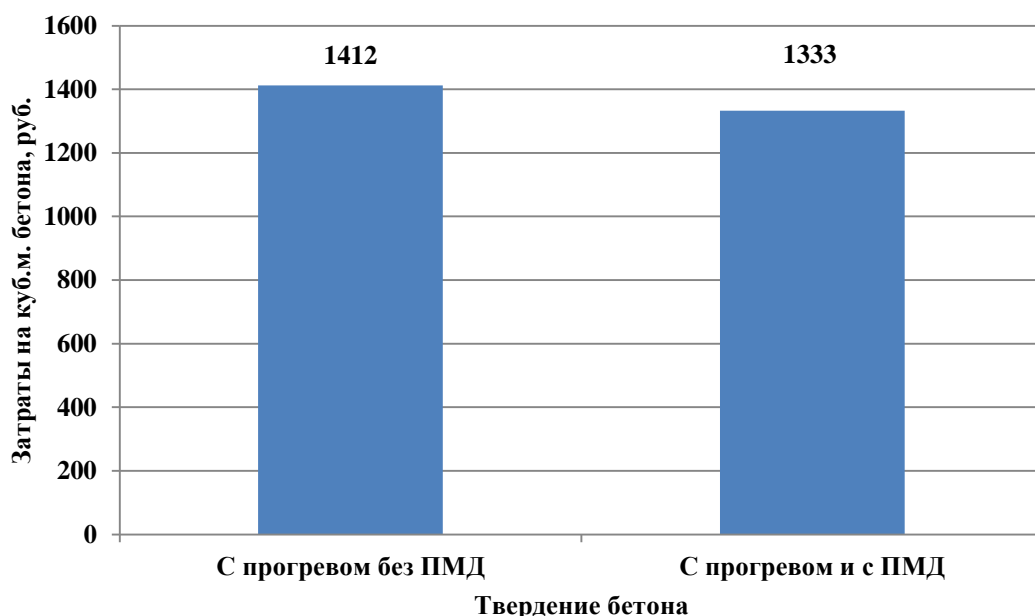


Рисунок 16 – Сравнение стоимости затрат в зависимости от способа твердения бетона.

Применение «холодного» бетона является не всегда методом, который позволяет получать требуемые характеристики. Поэтому применение для эффективного использования возможно с обогревом. При этом увеличивается набор прочности, экономится время и затраты на обогрев.

Таким образом, с помощью применения противоморозных добавок и применения режима бетонирования с прогревом можно не только уменьшать время термообработки конструкций, но и экономить около 80 рублей с 1 м³ бетона.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		84

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Обеспечение безопасности на рабочем месте во время трудового процесса – неотъемлемая часть любой деятельности. В настоящее время, когда научно-технический прогресс развивается очень стремительно, на обеспечение безопасности на рабочем месте уделяется особое внимание.

На обеспечение условий труда созданы специальные нормативно-правовые документы. Данные акты, отражающиеся в системе стандартов безопасности труда (ССБТ) отвечают требованиям для сохранения жизни и здоровья работников на рабочем месте во время трудовой деятельности.

В статье 41 Конституции РФ закреплено основное право граждан на охрану здоровья.

Естественным следствием этого является и право работника на здоровье и безопасные условия труда, которые также закреплены в Конституции РФ (статья 37).

Ответственность за выполнение условий, направленных на охрану труда на предприятии в целом и отдельно на каждом рабочем месте возлагается на руководителя, в том числе на директора и главного инженера организации.

5.1 Описание процессов, условий труда, оборудования и механизмов в ходе выполнения дипломной работы

Выполнение дипломной работы основано на исследовании применения противоморозной добавки, сравнении морозостойкости и сульфатостойкости «холодного» бетона. Исследование проводилось в ЮУрГУ на базе кафедры «Строительные материалы и изделия».

Бетонная смесь – подвижная смесь, состоящая из заполнителя, вяжущего, добавок, затворенная водой. В работе в качестве вяжущего взят цемент, в качестве добавок – суперпластификатор и противоморозная добавка, заполнитель – щебень и песок, вода.

В ходе получения бетонной смеси применялось следующее оборудование:

– смешивание компонентов бетонной смеси: бетоносмеситель;

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		85

- уплотнение бетонной смеси в форме: виброплощадка;
- определение массы смешиваемых компонентов: весы электронные;
- испытание образцов на сжатие: гидравлический пресс
- испытание образцов на изгиб
- высушивание образцов: сушильный шкаф;
- испытание на морозостойкость: морозильная камера.

Для приготовления бетонной смеси использовались следующие вспомогательные инструменты:

- дозировка воды для затворения: Измерительная колба и мерный цилиндр;
- перемешивание бетонной смеси и укладка в форму: мастерки;
- чаша для перемешивания смеси в процессе приготовления.

Материалы, используемые для приготовления бетонной смеси в рамках данного исследования: цемент ЦЕМ Ш/В – 32,5Н, песок природный, щебень природный, химические добавки.

Проведение исследования состоит из следующих процессов:

- подсушивание заполнителей в сушильном шкафу;
- изготовление образцов–балочек для испытания на прочность;
- испытание полученных образцов на изгиб и сжатие;
- хранение образцов в агрессивной и не агрессивной среде.

5.2 Анализ опасных и вредных производственных факторов при проведении испытаний

Согласно ГОСТ 12.0.003-74 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением № 1)» [6] опасными и вредными производственными факторами в лабораторных условиях при изготовлении бетонной смеси по своей природе действия на человека являются следующие группы:

- физические;
- химические;
- биологические;

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		86

– психофизиологические;

Физические опасные и вредные производственные факторы подразделяются на:

– движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции;

– повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, материалов;

– повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;

– повышенный уровень шума на рабочем месте;

– повышенный уровень вибрации;

– повышенная или пониженная влажность воздуха;

– повышенная или пониженная подвижность воздуха;

– отсутствие или недостаток естественного света;

– недостаточная освещенность рабочей зоны;

– пониженная контрастность;

– повышенная пульсация светового потока;

– острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;

Химические опасные и вредные производственные факторы подразделяются:

1. По характеру воздействия на организм человека:

– токсические;

– раздражающие;

2. По пути проникания в организм человека через:

– органы дыхания;

– кожные покровы и слизистые оболочки.

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы по характеру действия подразделяются на следующие:

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		87

1. Физические перегрузки:

- статические;
- динамические.

2. Нервно–психические перегрузки:

- умственное перенапряжение;
- перенапряжение анализаторов;
- монотонность труда.

5.3 Выбор нормативных значений факторов рабочей среды

5.3.1 Микроклимат рабочей зоны.

Работоспособность и здоровье человека работающего в производственном помещении зависит от микроклимата.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Температура окружающего воздуха, поверхностей, относительная влажность помещения и скорость движения воздуха в нем, интенсивность теплового облучения и другое – являются основными показателями входящими в микроклимат рабочего места в помещениях на производстве.

Испытания, проводимые в лаборатории занимают около 120 – 150 ккал/ч, вид работ относится к категории легких работ класса 1Б. Работа производится стоя с присутствием небольших физических нагрузок.

Санитарными нормами проектирования предприятий для рабочей зоны производственных помещений СанПиН 2.2.4.548 – 96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» установлены допустимые параметры: температуры, относительной влажности, скорости движения воздуха [43].

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		88

5.3.2 Запыленность и загазованность рабочей зоны

Во время проведения работ с тонкомолотыми и тонкодисперсными материалами, поднимающиеся в процессе работы и вызывающие оседание и раздражение слизистых оболочек и органов дыхания.

В данной работе за счет перемешивания и дозирования сухих компонентов смеси возникает запыленность воздуха.

Таким компонентом является цемент.

Цемент является компонентом с высокой удельной поверхностью и способен при длительном нахождении на рабочем помещении накапливаться и оседать в легких человека и при этом вызывать отдышку, сухость во рту, кашель. Заболевания, вызванные оседанием пылящих материалов – силикоз и другие.

Для предотвращения попадания вредных веществ необходимо использовать средства индивидуальной защиты.

Особенности действия на организм человека:

Ф – аэрозоли преимущественно фиброгенного действия.

В помещениях, где хранятся добавки или ведут работы с их использованием, запрещается принимать пищу. При попадании раствора добавки в глаза или на слизистые оболочки необходимо срочно промыть пораженные участки чистой водой или 2 % раствором борной кислоты.

5.3.3 Освещение рабочей зоны

Уровень освещенности на рабочем месте должен соответствовать характеру выполнения зрительной работы. Грамотно устроенное освещение обеспечивает хорошую видимость и создает благоприятные условия труда.

Правильно устроенное освещение обеспечивает хорошую видимость и создает благоприятные условия труда. ГОСТ 12.0.003 [5] содержит следующие опасные и вредные факторы, связанные с неудовлетворительным освещением:

- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенная яркость света;

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		89

- пониженная контрастность;
- прямая и отраженная блескость;
- повышенная пульсация светового потока.

Воздействие этих факторов вызывает преждевременное утомление, притупляет внимание, снижает производительность труда, может привести к ухудшению зрения и оказаться причиной несчастного случая.

В лаборатории предусмотрено естественное и искусственное освещение.

Естественное (боковое) освещение помещений осуществляется через световые проемы в наружных стенах лабораторного цеха (3 окна размерностью 3х4 м).

Искусственное освещение обеспечивается шестнадцатью блоками люминесцентных ламп, расположенными над рабочими местами в цехе.

5.3.4 Вибрация на рабочем месте

В лаборатории источниками вибрации является виброплощадка. При работе машин и механизмов вибрации вызываются инерционными силами, силами трения, движением элементов с переменным ускорением, соударением деталей.

Вибрация от этого оборудования передается на рабочие места и может оказать вредное воздействие на рабочего.

При длительном действии сильной вибрации на организм человека у него изменяется чувствительность кожи рук, появляется общее утомление, головная боль, ослабление внимания, некоторого нарушения координации движения, снижение работоспособности. При повышенной интенсивности и длительном воздействии вибрации могут развиваться профессиональные заболевания. Гигиеническое нормирование вибраций регламентируют документы ГОСТ 12.1.012 – 2004 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования» [8], СН – 2.2. 4/2.1.8. 556 – 96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [45].

Так как в лаборатории виброплощадка малогабаритная и длительно не используются, поэтому вредное воздействие на лаборанта отсутствует.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
						90
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		

Наиболее действенным средством защиты человека от вибрации является устранение непосредственного его контакта с вибрирующим оборудованием. Замена и усовершенствование технологических операций, конструктивные усовершенствования, применение средств внешней виброзащиты, которые размещаются между источником вибрации и руками человека, а также постоянный контроль за исправностью оборудования и своевременным планово–предупредительным его ремонтом, так как, в процессе его эксплуатации и износа, особенно для ручного механизированного оборудования, происходит выраженное усиление вибрации. В целях профилактики рабочие должны использовать средства индивидуальной защиты: рукавицы или перчатки, спец. обувь. Для предотвращения вредного воздействия шума и вибрации в лаборатории необходимо:

- эксплуатировать только исправные машины, а также проводить периодический осмотр и необходимый ремонт техники;
- работать лицам не моложе 18 лет, прошедшим медицинский осмотр, имеющим соответствующую квалификацию и сдавшим технический минимум по правилам безопасного выполнения работ;
- выполнение работ при наличии средств индивидуальной защиты от шума (наушники);
- снижать уровень звукового давления архитектурно–акустическими мероприятиями;
- снижение шума за счет конструктивных решений;
- выбирать рациональный режим труда и отдыха рабочих.

5.3.5 Шум на рабочем месте

Шум неблагоприятно воздействует на человека. Продолжительное действие сильного шума на организм вызывает общее утомление, повышение кровяного давления, снижение остроты слуха, ослабление внимания, некоторого нарушения координации движения и снижение работоспособности. Постоянное воздействие шума приводит к бессоннице, раздражительности.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		91

В лаборатории источником шума является устройство для испытания образцов–балочек на изгиб и пресс для испытания их же на сжатие, виброплощадка, бетоносмеситель. Однако, в виду непродолжительности воздействия и малых габаритов, данные приборы не оказывают значительного вредного влияния на организм человека.

Также для борьбы с механическим шумом используют смазочные и прокладочные материалы. Коллективным методом защиты от шума являются звукопоглощающие облицовки, перегородки, кожухи. Индивидуальные меры защиты включают использование вкладышей, наушников.

5.4 Безопасность производственных процессов и оборудования

При работе использовалось оборудование: бетоносмеситель, виброплощадка, гидравлические пресса.

Все работники должны быть ознакомлены с правилами безопасного поведения в лаборатории. Также, должна быть проведена проверка рабочего на знание этих правил.

Основные мероприятия, обеспечивающие безопасность производственных процессов:

– Конструкция производственного оборудования должна исключать опасность для работающих. Студент или преподаватель, приступая к работе, обязан проверить состояние и исправность оборудования.

– Размеры рабочего места и размещение его элементов должны обеспечивать выполнение рабочих операций в удобных рабочих позах и не затруднять движений работающего.

– Работать разрешается только в установленных нормативными документами средствах индивидуальной защиты.

– Допуск к работе лиц, прошедших инструктаж по охране труда на рабочем месте, обучение безопасным приемам и методам работы и проверка знаний.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		92

– На территории лаборатории запрещается находиться посторонним людям без соответствующего разрешения, а также не прошедших инструктаж по охране труда.

Общие требования безопасности согласно ГОСТ 12.2.003–91 ССБТ.

«Оборудование производственное. Общие требования безопасности» [13]:

1) Требования к конструкции и ее отдельным частям:

– конструкция производственного оборудования должна исключать на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работающих;

– конструкция производственного оборудования и его отдельных частей должна исключать возможность их падения, опрокидывания и самопроизвольного смещения при всех предусмотренных условиях эксплуатации и монтажа (демонтажа);

– движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование;

– конструкция зажимных, захватывающих, подъемных и загрузочных устройств или их приводов должна исключать возможность возникновения опасности при полном или частичном самопроизвольном прекращении подачи энергии, а также исключать самопроизвольное изменение состояния этих устройств при восстановлении подачи энергии;

– производственное оборудование должно быть пожаро-, взрывобезопасным в предусмотренных условиях эксплуатации;

– производственное оборудование, являющееся источником шума,

– ультразвука и вибрации, должно быть выполнено так, чтобы шум, ультразвук и вибрация в предусмотренных условиях и режимах эксплуатации не превышали

– установленные стандартами допустимые уровни;

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		93

2) требования к рабочим местам:

– размеры рабочего места и размещение его элементов должны обеспечивать выполнение рабочих операций в удобных рабочих позах и не затруднять движений работающего;

– при проектировании рабочего места следует предусматривать возможность выполнения рабочих операций в положении сидя или при чередовании положений сидя и стоя, если выполнение операций не требует постоянного передвижения работающего.

Требования к работе гидравлического пресса:

– конструкция гидравлических прессов должна отвечать требованиям ГОСТ 12.2.017 «Оборудование кузнечно–прессовое» [14] и ГОСТ 12.2.117 «Система стандартов безопасности труда. Прессы гидравлические» [15];

– все детали пресса, находящиеся под давлением, необходимо подвергать постоянному осмотру, периодическим освидетельствованиям и испытаниям;

– подвижная траверса пресса должна скользить по направляющим с минимальным зазором, не допуская перекоса;

– подвижная траверса не должна доходить до верхнего положения на 30 – 40 мм, для чего пресс должен быть оборудован конечным выключателем. На колоннах должны быть установлены специальные ограничители (или конечные выключатели) хода вниз;

– прессы должны быть снабжены устройством, предотвращающим самопроизвольное опускание подвижной траверсы;

– прессы должны быть снабжены устройствами для удержания подвижной траверсы в верхнем положении при выполнении ремонтных и наладочных работ;

– при проведении испытаний запрещается поправлять образец без выключения пускового механизма и полной остановки траверсы.

Для безопасной работы с сушильным агрегатом необходимо соблюдать следующие правила:

– Загрузочное окно агрегата должна закрываться плотно прилегающей

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		94

заслонкой с необходимой теплоизоляцией.

Требования к сушильным агрегатам:

- конструкция аппаратов и установок должна обеспечивать надежность, долговечность и безопасность их эксплуатации в течение срока службы;
- сушильный агент и режимы сушки должны быть выбраны с учетом пожаро- и взрывоопасных свойств высушиваемого материала;
- поверхности аппаратов и установок температурой выше 45 °С должны быть изолированы.

При соблюдении всех требований приведенных выше обеспечивается безопасность условий труда.

5.5 Электробезопасность

В данной работе используются электроустановки напряжением до 380 В. Для безопасной эксплуатации электрических установок, работающих в цехе, согласно ГОСТ 12.1.019–79 – 79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты (с Изменениями №1)» [9], используют конструктивные меры защиты – зануление, заземление, системы защитного отключения и другие.

Зануление устраивают на случай повреждения изоляции и возможности замыкания тока на металлических частях электроустановок с изолированным нулём. По ГОСТ 12.1.030 – 81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление (с Изменениями №1)» [11] заземление можно производить с естественным и искусственным заземлителям. Естественные – металлические трубопроводы и конструкции зданий, соединённые с землёй. Искусственные – забитые в землю стальные трубы диаметром 50 мм или металлические уголки размером 50 * 50 мм.

Использование напряжения в 12 или 36 В исключает поражение электрическим током. При использовании напряжения свыше 36 В должно обеспечиваться ограждение проводов и токоведущих частей.

В лабораторные провода выполнены изолированными. Пусковые устройства защищены кожухами, помещенные в запирающиеся ящики и

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		95

заземленные. Защитное отключение осуществляется автоматически при возникновении опасного напряжения на металлических частях оборудования в связи с порчей изоляции.

Во избежание термических ожогов необходимо строгое соблюдение правил техники безопасности при работе с электроприборами. Значение ПДУ напряжения прикосновения токов, протекающих через тело человека, при аварийном режиме электроустановок для постоянного и переменного тока устанавливается ГОСТ 12.1.038 – 82 ССБТ «Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжения прикосновения и токов» [12].

По электробезопасности помещение лаборатории относится к категории без повышенной опасности.

Данное оборудование регулярно проверяется на наличие неисправностей. К работе с ним не допускаются лица, не изучившие описание эксплуатации и не расписавшиеся в журнале по технике безопасности.

Для защиты человека от поражения электрическим током применяются следующие меры:

- все электроустановки согласно ГОСТ 12.1.1.030 – 81 «Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление» [11] заземлены медными проводами. Заземлитель и заземленный провод присоединен при помощи хомута из меди или латуни, на участке зачищенном от краски;
- согласно ГОСТ 12.1.019 – 79 «Электробезопасность. Общие требования», обеспечена недоступность токоведущих частей электроустановок и приборов;
- контроль изоляции и профилактика ее повреждения.

5.6 Пожаробезопасность

Опасными факторами, воздействующими на людей и материальные ценности согласно ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования» [7], являются:

- повышенная температура окружающей среды;
- пламя и искры;

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		96

- токсичные продукты горения и термического разложения;
- дым;
- пониженная концентрация кислорода.

Помещение лаборатории по пожароопасности относится к категории Д – пониженной пожароопасности, оснащена системой пожарной сигнализации, пожарными гидрантами, первичными средствами защиты от пожара:

ОП– 4(твердые вещества, жидкие вещества, газообразные вещества), ОУ – 4 (для тушения пожаров горючих жидкостей, пожаров газообразных веществ, а также пожаров электрооборудования, находящегося под напряжением не более 10000 В). Кроме того, все специалисты, практиканты, студенты в обязательном порядке проходят вводный инструктаж по правилам пожарной безопасности перед допуском к работе в лаборатории. Курение разрешено в специально отведенных местах.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		97

ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Особенностью «холодного» бетона с противоморозными добавками является отсутствие процессов гидратации цемента и твердения бетона при отрицательных температурах.

2. Предварительное замораживание снижает стойкость бетона к агрессивным воздействиям. Такой бетон имеет в марочном возрасте, пониженные прочностные характеристики, является не сульфатостойким.

3. Зимнее бетонирование «холодным» бетоном способствует снижению морозостойкости.

4. С экономической точки зрения применение противоморозных добавок необходимо проводить совместно с электропрогревом бетона, что позволит уменьшить время прогрева, снизить энергозатраты на обогрев и получить бетон с требуемыми свойствами.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		98

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов, Ю. М. Технология бетона [Текст]: учебник / Ю. М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1987. – 455 с.
2. Белов, В.В. Технология и свойства современных цементов и бетонов [Текст]: учебное пособие / В.В. Белов, Ю.Ю. Курятников, Т.Б. Новиченкова. – М.: Издательство АСВ, 2014. – 280с.
3. ГОСТ 10180–90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 34 с.
4. ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 17 с.
5. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация (с Изменением №1). – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 2 с.
6. ГОСТ 18105-2018.Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.– М.: Изд-во стандартов, 2018. – 15 с.
7. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная опасность. Общие требования (с Изменениями №1). – М.: Издательство стандартов, 1991. – 23 с.
8. ГОСТ 12.1.012–2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования. – М.: Стандартиформ, 2008 год. – 28 с.
9. ГОСТ 12.1.019–79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура защиты (с Изменениями №1). – М.: Издательство стандартов, 1897. – 4с.
10. ГОСТ 25192–2012 Бетоны. Классификация и общие технические требования. – М.: Издательство стандартов, 2012. – 9с.
11. ГОСТ 12.1.030–81 (2001). ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление (с Изменениями №1). – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 7 с.
12. ГОСТ 12.1.038–82. ССБТ. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов (с Изменениями №1). – М.: Издательство стандартов, 1982. – 5с.
13. ГОСТ 12.2.003–91 (2001). ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 37 с.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		99

14. ГОСТ 12.2.017–93. Оборудование кузнечно-прессовое. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 6с.

15. ГОСТ 12.2.117–88. Система стандартов безопасности труда. Прессы гидравлические. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 4с.

16. ГОСТ 12730.1–78. Бетоны. Методы определения плотности. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 4 с.

17. ГОСТ 22266–2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2014. – 13 с.

18. ГОСТ 310.2–76. Цементы. Методы определения тонкости помола. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 3 с.

19. ГОСТ 310.3–76. Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.

20. ГОСТ 310.4–81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 11 с.

21. 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, 2005. – 52 с.

22. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 25 с.

23. ГОСТ 24104–2001 Весы лабораторные. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 25 с.

24. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ [Текст]: учебное пособие / Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г.–М.: Высшая школа, 1981 .– 335 с.

25. ГОСТ 31733–2012 Прессы гидравлические. Требования безопасности. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 25 с.

26. ГОСТ 10060–2012. Бетоны. Методы определения морозостойкости (с Поправкой). – М. : Стандартиформ, 2014. – 24 с.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		100

27. ГОСТ 24211–2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2010 – 16 с.

28. ГОСТ 26633–2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015 – 12 с.

29. ГОСТ 30459–2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности. – М.: Стандартинформ, 2010 – 20 с.

30. ГОСТ 30515-2013. Цементы. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015 – 8 с.

31. ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2012 – 11 с.

32. ГОСТ 6709–72. Вода дистиллированная. Технические условия (с Изменениями N 1, 2) . – М.: Стандартинформ, 2015 – 12 с.

33. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия (с Поправкой) . – М.: Стандартинформ, 2014 – 16 с.

34. ГОСТ Р 56687–2015. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Метод определения сульфатостойкости бетона. – М.: Стандартинформ, 2015 – 12 с.

35. Грапп, В. Б. Сульфатостойкость бетонов с добавками электролитов [Текст]: учебное пособие / В. Б. Грапп, Т. И. Розенберг, С. В. Шестоперов. – Рига: Атотс, 1982 – 334 с

36. Кононова, О. В. Исследование кинетики твердения бетонов и растворов с противоморозными добавками после воздействия отрицательных температур [Текст]: учебное пособие / О. В. Кононова // Фундаментальные исследования серия «Технические науки». – 2014. – вып. 8. – С. 1309–1312.

37. Powers, T.C. The Mechanism of Frost Action in Concrete. // Cement, Lime, Gravel. – 1966. – 41.- №5. – P. 143-148, P. 181-185.

38. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст]: учебное пособие / В. М. Москвин, С. Н. Алексеев, Ф. М. Иванов, Е. А. Гузеев, – М.: Стройиздат, 1980 -536 с.

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		101

39. Кунцевич, О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений крайнего севера [Текст]: учеб. для вузов / О.В.Кунцевич. – Л.: Стройиздат, 1983.– 132 с.

40. Крамар, Л.Я. Модификаторы цементных бетонов и растворов (Технические характеристики и механизм действия). [Текст]: учебное пособие. / Л. Я. Крамар, Б. Я. Трофимов, Е. А. Гамалий и др. – Челябинск, 2012. – 211 с.

41. Москвин, В.М. Трещины в железобетоне и коррозия арматуры [Текст]: учебное пособие / В.М. Москвин, С.Н. Алексеев, Г.П. Вербецкий, В.И. Новгородский.–М.: Стройиздат, 1971.–144 с.

42. Р-НП СРО ССК-02–2015 Рекомендации по производству бетонных работ в зимний период. – М.: Стандартиформ, 2016 – 34 с.

43. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Минздрав России, 1997. – 65 с.

44. Гныря, А.И. Сборник задач по технологии бетонных работ в зимних условиях [Текст] : учебное пособие / А.И. Гныря, А.П. Бояринцев, С.В. Коробков, К.Ю. Тищенко. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2014. – 412 с.

45. СН № 2.2.4/2.1.8.556–96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. – М.: Минздрав России, 1996. – 25 с.

46. СНиП.2.03.11–85 Защита строительных конструкций от коррозии. – М.: Стандартиформ, 2015 – 17 с.

47. СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ТИПА ЦЕМ II, ПОДТИПА В (www.dyckerhoff-korkino.com/online/download.jsp?idDocument=19&instance=1)

48. Трофимов, Б.Я. Коррозия бетона [Текст]: монография / Б.Я. Трофимов, М.И. Муштаков. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 310 с.

49. Шестоперов, С. В. Технология бетона [Текст] : учебное пособие / С. В. Шестоперов. – М.: Высшая школа, 1977. – 432 с. 20

50. Шейкин, А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня [Текст] : учебное пособие / А.Е.Шейкин.– М.: Стройиздат, 1974.–192

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		102

ПРИЛОЖЕНИЕ

					08.04.01.2019.088.00.00.ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		103