



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

Национальный Исследовательский Московский государственный строительный университет
129337, Россия, Москва, Ярославское ш., д. 26

ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ
ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ
по дисциплине «Основы научных исследований»

по теме:
«Особенности твердения бетона с противоморозными добавками»

Выполнил

Студент ИДО(3)-2022-7-м
Группа

_____ Цветков Р.В.
подпись ФИО

Проверил

_____ уч. степень, уч. звание, должность,

_____ подпись ФИО преподавателя



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

МОСКВА 2023
Домашнее задание
по дисциплине «Основы научных исследований»

Выдано студенту:

Цветкову Роману Валерьевичу

Институт:

ИДО

Группа:

ИДО(з)-2022-7-м

Номер зачетной книжки:

22-М-09123

Тема: Особенности твердения бетона с противоморозными добавками.

Задание

Цель работы: Овладение основами выполнения научных исследований, получение знаний и навыков для самостоятельной организации научной деятельности посредством решения типовых задач.

1. Выберите и сформулируйте тему домашней работы в рамках перспективных направлений исследований в строительной отрасли.
2. Проведите декомпозицию исследуемой системы.
3. Опишите материалы, методы и методологию исследования, использование которых позволит достичь целей описанных в рамках исследования.
4. Изучите основы математической статистики, планирования и обработки экспериментов, ознакомьтесь с методом наименьших квадратов.

Пусть исследование направлено на установление влияния управляющего фактора x на количественный критерий y , характеризующий свойства объекта исследования. В результате эксперимента получена следующая зависимость этих параметров:

Параметр	Номер эксперимента				
	1	2	3	4	5
Фактор x_i	$\text{Ц}_2 - 5$	12	27	44	$\text{Ц}_3 + 50$
Критерий y_i	$x_2 - 4,2$	Ц_1	6,4	Ц_4	$x_4 + 8,6$

Примечания: $\text{Ц}_1, \text{Ц}_2, \text{Ц}_3$ и Ц_4 – Первая, вторая, предпоследняя и последняя цифра номера зачетной книжки, соответственно

Методом наименьших квадратов найдите коэффициенты a и b линейной функции $y=f(x)=ax+b$, которая наилучшим образом приближает эмпирические (опытные) данные. Найдите сумму квадратов отклонений.

Присвойте параметрам x и y физический смысл в соответствии с выбранной темой домашнего задания и проанализируйте полученное уравнение. Сделайте вывод о достоверности модели для описания экспериментальных данных.

С помощью специализированного программного обеспечения (на выбор студента, кроме MS Office Excel) подберите математическую модель, описывающую зависимость экспериментальных данных наилучшим образом. Охарактеризуйте достоверность такой модели и спрогнозируйте 2 любых значения параметра y за пределами диапазона варьирования фактора x в рамках эксперимента.

Ообразите в графическом виде исходные экспериментальные данные в осях координат, соответствующих присвоенному ранее физическому смыслу параметров x и y . Постройте график двух функций (линейной и наилучшей), аппроксимирующих эмпирические результаты.

5. Обобщить результаты, полученные в домашнем задании, сформулируйте общий вывод по работе в виде заключения.
6. Изучите ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления». Оформите домашнее задание в соответствии с требованиями, предъявляемыми к научно-квалификационным работам.
7. Изучите основы представления результатов научного исследования в виде презентации, правила подачи и оформления информации на слайдах, а также особенности публичного выступления. Подготовьте презентацию и тезис доклада, раскрывающие основное содержание домашнего задания в формате Power Point и MS Word соответственно.

Объем доклада – 1-2 страницы.

Минимальный объем презентации – не менее 10 слайдов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Оглавление.....	4
Реферат.....	5
Аналитический обзор.....	6
Материалы и методы исследования.....	12
Декомпозиция исследуемой системы.....	19
Планирование и обработка эксперимента.....	21
Заключение.....	25
Список литературы.....	26

РЕФЕРАТ

Отчет 27 страниц, 6 рисунков, 12 таблиц, 16 источников.

Ключевые слова: бетон, цемент, песок, твердение бетона, противоморозные добавки.

Объектом исследования является бетон и противоморозные добавки.

Предметом исследования является условие набора прочности бетона в зимнее (холодное) время года.

Цель работы – установить условия и методы твердения бетона в зимнее время с добавлением противоморозных добавок.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Под зимним периодом в строительстве считается время, когда среднесуточная температура устанавливается на уровне $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а минимальная суточная температура - ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. Из-за определенных особенностей производство строительных работ в зимний период и летом существенно отличаются. В настоящее время все актуальнее становится решение задач, связанных с обеспечением эффективности строительства, особенно в холодный период, сокращением трудозатрат и экономией энергетических ресурсов, продолжительности строительных процессов, обеспечения безопасности и надежности зданий и сооружений с применением современных материалов и совершенствованием существующих (например, применение различных добавок).

В последние 20 лет особенно много уделяется внимания зимнему бетонированию и соответственно противоморозным добавкам.

В настоящее время можно выделить следующую классификацию 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;
- 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 установлена минимальная температура бетонной смеси при укладке в опалубку $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Применение способов бетонирования с прогревом позволяет увеличить скорость строительства, получать высокую прочность в ранние сроки, однако, для прогрева конструкций и изделий необходимы большие затраты: трудовые

(укладка греющих проводов, подключение греющих элементов и т.д.) и материальные (расходы на энергию и оборудование для прогрева). Учитывая дороговизну газо-, паро- и электроэнергии, отказ от тепловой обработки и изготовление конструкций без замедления темпов строительства представляет собой актуальную задачу.

Таким образом введение 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, о которых речь пойдет ниже.

Области применения «зимних» бетонов

В современном мире и в технологиях строительства широкое распространение получило монолитное строительство. Зимой также возможно вести бетонирование монолитных конструкций с определенными ограничениями и рекомендациями. С применением добавок возможно использование бетонных и растворных смесей для: возведения сборно-монолитных конструкций, замоноличивания стыков сборных конструкций и при изготовлении сборных бетонных и железобетонных конструкций в условиях строительных площадок и полигонов. Несмотря на низкую температуру (до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$) бетон с некоторыми противоморозными добавками, хотя и медленно, но систематически набирает прочность за счет гидратации цемента.

На сегодняшний день возможно бетонирование практически любых конструкций при отрицательных температурах. Возводимые в зимнее время конструкции можно разделить на две группы:

1. Тонкостенные конструкции (плиты перекрытий, колонны, стены), - применение прогрева и добавок-ускорителей позволяет получить минимальную, а в некоторых случаях и марочную прочность уже на 2 сутки.

2. Массивные конструкции (фундаментные плиты) - при их бетонировании возможно использовать, как искусственный прогрев бетона, так и экзотермию вяжущего, что при правильной подготовке опалубки позволит бетону «саморазогреваться» до температуры около $50\text{-}60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Также при бетонировании в зимнее время необходимо с осторожностью относиться к применению специальных видов бетонов: высокопрочных и эксплуатируемых в агрессивных средах. Известно, что преждевременное замораживание бетона, так же как и применение некоторых добавок, может отразиться на эксплуатационных свойствах бетона, а в частности на долговечности.

Применение противоморозных добавок в железобетонных изделиях и конструкциях с использованием арматуры также ограничено, так как некоторые виды добавок (например, хлориды) могут вызывать ее коррозию.

Противоморозные добавки и их совместимость с другими материалами.

Влияние на долговечность бетона

Как было сказано выше, при бетонировании с применением химических добавок, учитывая область их применения противоморозные добавки делятся на несколько групп:

- добавки, снижающие температуру замерзания свободной воды в бетоне и незначительно влияющие на кинетику схватывания и твердения бетона (электролиты, спирты);

- добавки, которые совмещают в себе свойства антифризов и способны к ускорению процессов схватывания и твердения цемента (поташ, хлориды, нитраты, нитриты, мочевины);

- вещества со слабыми свойствами антифриза, но которые относятся к сильным ускорителям схватывания и твердения цемента; одновременно такие добавки вызывают сильное тепловыделение на ранней стадии схватывания бетонной смеси и твердения бетона (сульфаты трехвалентного железа и алюминия);

- в современных условиях часто можно встретить комплексные противоморозные добавки на основе пластификатора одновременно со свойствами антифриза и ускорителя, это позволяет в некоторой степени упростить технологический процесс производства бетонной смеси благодаря применению одного дозатора добавок.

На сегодняшний день можно выделить большую разновидность материалов, используемых для производства противоморозных добавок (ПМД).

Таблица 1.1 - Виды веществ, применяемых при производстве ПМД.

Таблица 1.1 – Виды веществ, применяемых при производстве ПМД.

Вещество	Обозначение	Химическая формула
Хлорид натрия	ХН	NaCl
Нитрит натрия	НН	NaNO ₂
Нитрат натрия	НН	NaNO ₃
Формиат натрия	ФН	NaCOOH

Вещество	Обозначение	Химическая формула
Ацетат натрия	АН	NaCO_3COOH
Поташ	П	K_2CO_3
Гидроксид аммония	ГА	NH_4OH
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 кальция	ННК	$\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 + \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
Аммиак	А	NH_3
Тиосульфат и роданид натрия		$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3, \text{NaSCN}$
Тиосульфат и роданид кальция		$\text{Ca}_2\text{S}_2\text{O}_3, \text{Ca}(\text{SCN})_2$

Указанные вещества, следовательно, и добавки на их основе, по-разному влияют на свойства бетонной смеси и долговечность бетона. В зависимости от состава цемента, вида заполнителя, а в первую очередь от среды эксплуатации рекомендуется применять ту или иную противоморозную добавку либо ее сочетание с другими добавками (пластифицирующими, воздухововлекающими).

1. Совместимость противоморозных добавок с другими.

Так как большинство противоморозных добавок являются ускорителями схватывания и твердения, возможно столкнуться с рядом проблем, связанными с сохранемостью удобоукладываемой бетонной или растворной смесей. Для нивелирования этого эффекта, а также для увеличения удобоукладываемой многие производители добавок рекомендуют применять замедлители схватывания.

В современных условиях при производстве бетонных и железобетонных конструкций практически всегда применяются пластифицирующие добавки. Зачастую противоморозные добавки хорошо совместимы со всеми пластифицирующими добавками и не вызывают ухудшения свойств смесей, однако перед использованием любого комплекса необходима проверка добавок на совместимость в каждом конкретном составе.

2. Влияние противоморозных добавок на свойства бетонной смеси.

Противоморозные добавки могут оказывать различное влияние на свойства бетонной смеси в зависимости от множества факторов: состава, вида цемента, температуры, состава и дозировки добавки.

2.1 Водоотделение.

При использовании традиционных противоморозных добавок водоотделение и седиментация в бетонной смеси нехарактерны. Опасность водоотделения возникает при использовании пластифицирующих добавок и добавок-замедлителей, зачастую эта проблема решается корректировкой состава бетонной смеси.

2.2 Реологические свойства бетонной смеси.

Некоторые противоморозные добавки проявляют пластифицирующие свойства, позволяя снижать водоцементное отношение при сохранении подвижности смеси. К таким веществам относятся: соли кальция, смеси хлорида кальция с нитритом и хлоридом натрия.

Большим пластифицирующим эффектом характеризуется карбамид, особенно в комплексах НКМ, ННКМ и ННХКМ, кроме того эти добавки положительно влияют на сохраняемость бетонной смеси.

Другие соли (при использовании их в качестве индивидуальных добавок) не обладают заметным пластифицирующим действием, поэтому их целесообразно использовать в сочетании с пластифицирующими добавками.

2.3 Тепловой эффект гидратации цемента.

Процесс гидратации цемента сопровождается тепловыделением, при различных температурах, особенно в присутствии противоморозных добавок. Данный параметр достаточно важен, так как используя экзотермию вяжущего (при должном утеплении опалубки) можно обойтись без дополнительного прогрева конструкции.

3. Карбонизация бетона.

3.1 Поташ при введении в бетонную смесь реагирует с гидроксидом кальция, алюминатными фазами цемента и цементного камня и в результате образуются соли, которые частично колют матируют поры, что практически исключает карбонизацию бетона.

3.2 Сочетание противоморозных и пластифицирующих добавок уплотняет бетон и снижает скорость карбонизации.

3.3 При совместном использовании с противоморозными добавками воздухововлекающих образуется система условно замкнутых пор, и карбонизация практически не усиливается.

4. Сульфат стойкость бетона.

4.1 Соли кальция снижают сульфат стойкость бетона за счет образования двойных солей при взаимодействии с алюминатными фазами цемента и цементного камня.

4.2 Соли щелочных металлов (поташ, нитрит натрия) повышают сульфат стойкость бетона за счет реакций обмена.

4.3 Поверхностно-активные вещества - пластифицирующие и воздухововлекающие добавки - способствуют повышению сульфат стойкости бетона, однако если конструкция будет эксплуатироваться в жидких сульфатных средах, то помимо применения сульфат стойкого цемента необходимо ограничить использование противоморозных добавок, содержащих кальциевые соли.

5. Щелочная коррозия.

5.1 При наличии в цементе выше 0,6% водорастворимых щелочных соединений (в пересчете на № 2Oи K2O), а также при введении в бетонную смесь солей щелочных металлов и слабых кислот - они взаимодействуют с аморфным реакционно способным кремнеземом с образованием растворимых силикатов натрия и калия. Это приводит к разрушению бетона продуктами реакции. Поэтому противоморозные добавки, содержащие гидролизующиеся соли натрия и

кальция - NH и поташ, запрещается применять в тех случаях, когда возникает опасность такого разрушения бетона.

5.2 Соли кальция не вызывают щелочной коррозии бетона, так как образуют с аморфным кремнеземом труднорастворимые гидросиликаты кальция, защищающие зерна заполнителя пленкой.

6. Морозостойкость бетона.

Существуют несколько причин разрушения бетона при морозной агрессии:

- увеличение локальных растягивающих напряжений в результате кристаллизации воды;

- гидравлическое давление поровой жидкости, отжимаемой льдом, особенно в порах от 3 до 100 нм;

- выщелачивание $\text{Ca}(\text{OH})_2$, снижение рН поровой жидкости и вызывает перекристаллизацию высокоосновных продуктов гидратации, а значит разрушение материала;

- кристаллизация новых гидратных образований в процессе циклических изменений температуры практически не укрепляет цементного камня.

6.1 Соли кальция, а также карбамид повышают морозостойкость и морозосолеустойкость бетона. Такое влияние обусловлено несколькими моментами: улучшается поровая структура цементного камня и зоны контакта с заполнителем; снижение льдистости бетона. Также лед, образующийся из концентрированных растворов, обладает чешуйчатым строением и менее прочен, чем лед, кристаллизующийся из воды.

6.2 Бетоны, с комплексными добавками, содержащими мочевины (НКМ, НКМ и НКХМ) более морозостойки, чем бетоны с добавками просто НК, НК и НКХ. Это объясняется тем, что в присутствии карбамида и других поверхностно-активных веществ наблюдается их окклюзия выделяющимся льдом, что дополнительно снижает его механические показатели.

6.3 Введение комплекса противоморозных и воздухововлекающих добавок повышает стойкость бетона к циклическому замораживанию и оттаиванию в соответствии с их воздействием на поровую структуру цементного камня. С этим также связана эффективность комплекса противоморозных добавок с пластифицирующими добавками для снижения водоцементного отношения.

6.4 Введение в качестве противоморозного компонента добавок на основе солей кальция положительно влияет на морозостойкость бетона при температуре до $-60\text{ }^\circ\text{C}$, а также при твердении бетона по режимам с перепадом температур от -30 до $+20\text{ }^\circ\text{C}$. Однако, преимущество по морозостойкости бетонов с добавками на основе солей кальция при длительном хранении в воде и в условиях полного водонасыщения снижается, а это имеет значение для гидротехнических бетонов.

6.5 Добавка нитрата натрия незначительно повышает морозостойкость бетона.

6.6 Поташ сильно снижает сопротивление бетона к морозной агрессии (увеличение объема «переходных» пор). Введение совместно с поташом замедлителей схватывания цемента способствует повышению морозостойкости

бетона за счет влияния на поровую структуру цементного камня. Для конструкций

с высокими требованиями по морозостойкости применение в качестве противоморозной добавки поташа, даже совместно с вышеуказанными или поверхностно-активными веществами не рекомендуется.

7. Высолообразование.

Некоторые противоморозные добавки склонны к высолообразованию. Появление высолов связано с большой дозировкой добавок на основе нитрита натрия и хлорида натрия. Снизить этот эффект возможно применением поверхностно-активных веществ типа лигносульфонатов. На высолообразование также можно влиять, изменяя условия тепломассопереноса, например, укрывая поверхность бетона матами, полимерными пленками.

При жестких требованиях к внешнему виду изделий и конструкций рекомендуется применять в качестве противоморозного компонента соли кальция или калия, а также предпринимать вышеуказанные меры.

8. Коррозия арматуры.

Противоморозные добавки, в зависимости от исходных компонентов, по отношению к арматуре можно разделить на 3 группы:

8.1 Ингибирующие (замедляющие коррозию). В данную группу входят НН, ННК (ингибиторы анодного действия), они наиболее эффективны в условиях коррозии арматуры с достаточной толщиной защитного слоя бетона.

8.2 Не вызывающие коррозию арматуры. Эта группа представлена поташом, НК, мочевиной, НКМ.

8.3 Стимулирующие коррозию. Такие добавки содержат хлориды кальция и натрия.

При эксплуатации конструкции в среде с хлорид- или сульфат-ионами (морские сооружения, дороги с применением антиобледенителей) рекомендуется применять противоморозные добавки и с ингибирующими свойствами.

При совместном введении с противоморозным компонентом пластифицирующих и воздухововлекающих добавок практически не сказывается на коррозии арматуры. Однако, при снижении водоцементного отношения коррозия снижается (в результате увеличения омического сопротивления и затрудненного доступа к арматуре кислорода воздуха).

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристики сырьевых материалов

В ходе работы для установления зависимостей влияния добавок на свойства бетонной смеси, бетона, а также цементного камня использовались материалы различных производителей со следующими свойствами:

1. Цемент.

В работе использовали цемент производства ПАО «Горнозаводскцемент» класса ЦЕМ1 42,5Н по ГОСТ 31108-2003. Данный цемент обладает

высоким качеством, постоянством минералогического и химического состава, а также нормируемых свойств. Данный цемент широко применяется в Челябинской области для производства высококачественного бетона.

Минералогический состав цемента представлен следующими фазами: C3S - 64,8%; C2S - 12,1%; C3A - 6,2%; C4AF - 14%, MgO - 1,4%. (Щелочные оксиды в пересчете на Na₂O (Na₂O+0,658 K₂O) - 0,4. Химический состав цемента приведен ниже, в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав цементного клинкера

Содержание в цементе основных оксидов, % по массе							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	CaO _{своб}	MgO	SO ₃	Cl-ионы
20,2	5,1	4,5	64,5	0,9...1,3	1,5	2,5	0,008

Таблица 2.2 – Характеристики цемента

Показатель	Значение	Норматив	Соответствие ГОСТ
		ГОСТ 31108-2003 ГОСТ 30515-2013	
1	2	3	4
Нормальная плотность, %	27,25	не нормируется	–
Начало схватывания, мин	190	не ранее 60	соответствует
Конец схватывания, мин	255	не нормируется	соответствует
Тонкость помола (остаток на сите № 008), %	1	не более 15	соответствует
Удельная поверхность, см ² /г	3200	не нормируется	–

Окончание таблицы 2.2

Показатель	Значение	Норматив ГОСТ 10178 ГОСТ 30515	Соответствие ГОСТ
1	2	3	4
Предел прочности при изгибе в возрасте: 2 суток, МПа 28 суток, МПа	- 7,3	не нормируется	- соответствует
Прочность цемента при сжатии в возрасте: 2 суток, МПа 28 суток, МПа	24,7 58,8	не менее 10 не менее 42,5 не более 62,5	соответствует соответствует
Содержание естественных радионуклидов, Бк/кг (удельная эффективная активность)	69,1	не более 370	соответствует

2. Заполнители

В качестве мелкого заполнителя для бетонов применяли мытый кварцевый песок производства ООО «БОГАЕВСКИЙ КАРЬЕР». Основные характеристики данного песка приведены в таблице 2.3

Таблица 2.3 – Характеристики песка

Показатель	Значение	Норматив ГОСТ 8736 [62] ГОСТ 26633 [61]	Соответствие ГОСТ
1	2	3	4
Насыпная плотность, кг/м ³	1415	не нормируется	Соответствует
Истинная плотность, кг/м ³	2630	не нормируется	Соответствует
Пустотность, %	46	не нормируется	Соответствует

Окончание таблицы 2.3

Показатель	Значение	Норматив ГОСТ 8736 [62] ГОСТ 26633 [61]	Соответствие ГОСТ
1	2	3	4
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 <0,16 мм, %	4,8	не более 5	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		
Содержание естественных радионуклидов, Бк/кг (удельная эффективная активность)	не более 370	не более 370	Соответствует

Крупным заполнителем для бетонов был гранодиоритовый щебень Хромовицкого карьера. Характеристики щебня приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Характеристики щебня

Контролируемые свойства	Значения	Норматив ГОСТ 8736 [62] ГОСТ 26633 [61]	Соответствие ГОСТ
1	2	3	4
Насыпная плотность, кг/м ³	1415	не нормируется	–
Истинная плотность, кг/м ³	2700	2000–2800	соответствует
Пустотность, %	45,9	–	–
Полные остатки на ситах с ячейкой, %:			

Окончание таблицы 2.4

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	72,7	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 (удельная эффективная активность)	не более 370	не более 370	Соответствует

4. Добавки.

Для проведения исследований в качестве добавок использовались жидкие добавки производства одних из крупнейших в этой отрасли фирм - «Полипласт» и «BASF». При выборе противоморозных добавок руководствовались несколькими моментами:

- основа добавки;
- эффективность добавки (указанная производителем);
- доступность в регионе;
- распространенность их использования на предприятиях региона и страны.

В качестве пластифицирующей добавки была использована добавка СП-1 производства «Полипласт УралСиб». Характеристики и свойства добавок представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Характеристики добавок

Показатель	Значение	Норма по ТУ
Полипласт «NORD»		
Тип добавки	Противоморозная	
Основа добавки	Неорганические соли (политианидов и фосфата натрия), органические многоатомные спирты	
Внешний вид	Жидкость светло-коричневого цвета	+
BASF «Master Pozzolith 506»		
Тип добавки	Противоморозная	
Основа добавки	Соли органических кислот	
Внешний вид	Бесцветная жидкость	+
Плотность водного раствора при 20 °С	1186	1180–1190

2.2 Методы исследования

Для оценки результатов проводимых испытаний, а также для получения более полной картины об особенностях исследуемых материалов и их влиянии на свойства бетонных смесей и бетонов необходимо использовать различные методы исследования. Для решения поставленных в работе задач использовались стандартные методы исследования, изложенные в ГОСТ.

Таблица 2.6 – Методы испытаний

Показатель	Метод испытаний	Количество повторов
Свойства цемента		
Истинная плотность цемента и АМД	ГОСТ 310.2 [25]	2
Тонкость помола цемента по остатку на сите № 008		2
Удельная поверхность цемента и АМД	ГОСТ 310.2 [25]	2
Предел прочности при изгибе и сжатии для цемента	ГОСТ 310.4 [26]	3
Зерновой состав и модуль крупности песка	ГОСТ 8735 [27]	2
Содержание в песке глины в комках	ГОСТ 8735 [27]	2
Нормальная густота	ГОСТ 310.3 [30]	2
Сроки схватывания	ГОСТ 310.3[30]	2

Продолжение таблицы 2.6

Показатель	Метод испытаний	Количество повторов
Свойства песка		
Содержание в песке пылевидных и глинистых частиц	Мокрого просеивания по ГОСТ 8735 [27]	2
Насыпная плотность цемента, АМД, песка	ГОСТ 8735 [27]	2
Истинная плотность песка	Ускоренный по ГОСТ 8735 [27]	2
Пустотность песка	ГОСТ 8735 [27]	2
Свойства щебня		
Зерновой состав щебня	ГОСТ 8269.0 [28]	2
Дробимость щебня		2
Насыпная плотность щебня		2
Истинная плотность щебня	Ускоренный по ГОСТ 8269.0 [28]	2
Содержание в щебне пылевидных и глинистых частиц	Отмучивания по ГОСТ 8269.0 [28]	2
Содержание в щебне зерен лещадной и игловатой формы	Визуальной разборки по ГОСТ 8269.0 [28]	2
Содержание в щебне зерен слабых пород	ГОСТ 8269.0 [28]	2
Свойства бетонной смеси		
Средняя плотность	ГОСТ 10181 [32]	2
Расслаиваемость		2
Сохраняемость подвижности		2
Средняя плотность	ГОСТ 12730.1 [33]	3
Свойства бетона		

Окончание таблицы 2.5

Показатель	Метод испытаний	Количество повторов
Прочность при сжатии	ГОСТ 10180 [31]	3
Плотность	ГОСТ 12730.1 [33]	2
Пористость		2
Свойства и эффективность влияния добавок		
Оценка эффективности пластифицирующей добавки	ГОСТ 30459–2008 [10]	2
Оценка эффективности противоморозных добавок	ГОСТ 30459–2008 [10]	1

3. ДЕКОМПОЗИЦИЯ ИССЛЕДУЕМОЙ СИСТЕМЫ

3.1 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 3.1 представлена зависимость скорости набора прочности контрольных цементно-песчаных образцов в зависимости от температуры твердения.

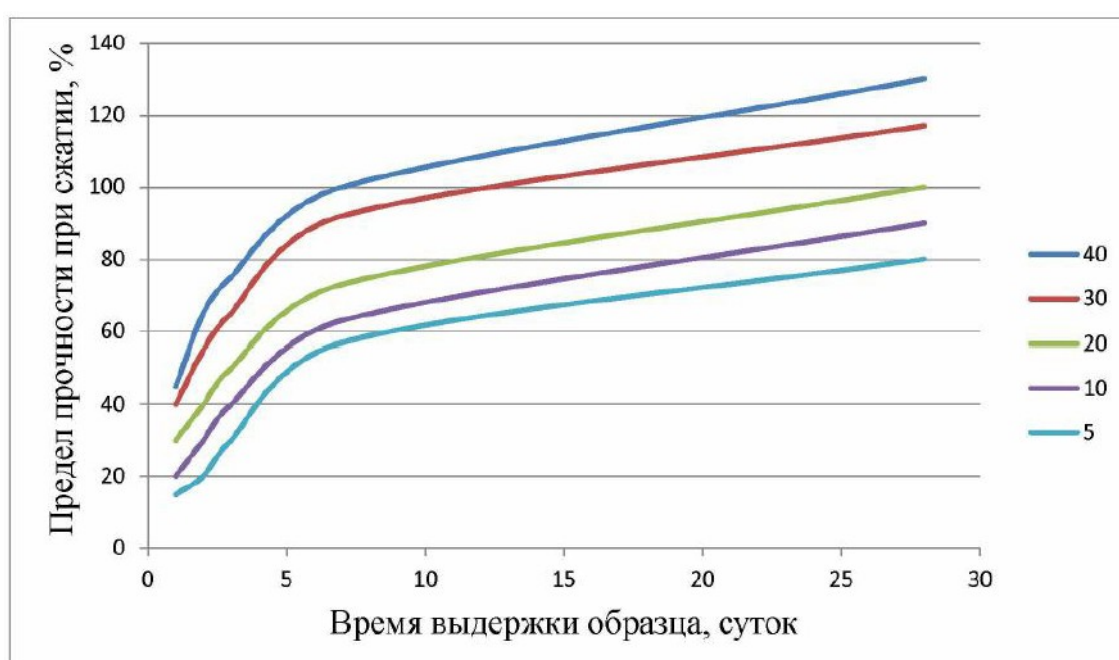


Рисунок 3.1 - Влияние температуры твердения на скорость набора прочности

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 270800.65.2016.149.00.00. ПЗ Лист 34 Время выдержки образца, суток 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. Для повышения подвижности смеси использован пластификатор СП-1ВП, с помощью данной добавки получали бетонные смеси с подвижностью П4 (ОК 15-19 см). 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 3.1- 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
MasterPozzoloth 506	8,6	8,5	8,5	8,7	8,6

Колебания результатов испытаний образцов по пределу прочности при сжатии составляют 0,19 МПа и 0,17 МПа для добавок «NORD» и «MasterPozzoloth 506» соответственно, данные колебания можно отнести к погрешности измерений. 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.

Также по полученным результатам можно оценить эффективность противоморозной добавки. Наибольший прирост прочности в процессе

оттаивания за 24 часа показала противоморозная добавка «MasterPozzolith 506» (увеличение на 13%), поэтому для дальнейших исследований будет использована добавка «MasterPozzolith 506» концерна «BASF».

4. ПЛАНИРОВАНИЕ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТА

4.1 Оценка динамики набора прочности бетона после оттаивания в нормальных условиях.

При строительстве в зимнее время очень важно знать, как происходит набор прочности изготавливаемых конструкций, особенно при использовании «холодных» бетонов, строителям необходимо знать, когда можно производить распалубку или непосредственно нагружение конструкции. Также, учитывая требования нормативных документов нужно понимать, эффективно ли использовать ту или иную противоморозную добавку. Известно, что получение 30 и более процентов марочной прочности необходимо в первые сутки после оттаивания бетона, и иметь информацию о том, когда прочность бетона наберет достигнет проектного значения.

Для решения данной задачи были произведены испытания по оценке динамики набора прочности бетона в процессе оттаивания после замораживания образцов в течении 28 суток при отрицательной температуре. Составы бетонных смесей приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Составы бетона для определения темпов набора прочности

Состав №	Расход материалов кг/м ³		
	3	6	9
Цемент	450		
Песок	800		
Щебень	1050		
ПМД («MasterPozzolith506»)	20,3		
Вода	157,5	202,5	247,5

Данные составы были сделаны с одинаковым расходом цемента и противоморозной добавки, но с разным расходом воды, для того, чтобы была возможность оценить влияние водоцементного соотношения и концентрации добавки в бетонной смеси на прирост прочности бетона.

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 3.2 без противоморозной добавки и с таким же водоцементным соотношением. Дополнительно, для подтверждения влияния на свойства бетона фактора водоцементного соотношения были изготовлены образцы с расходом цемента 250 -5 и 350 кг/м³, с сохранением для каждого расхода цемента В/Ц=0,35, 0,45 и 0,55 соответственно. Данные испытания образцов на прочность в возрасте 28 суток представлены в таблице.

Таблица 3.3 – Значение показателей предела прочности при сжатии контрольных составов.

№ состава	Расход цемента	В/Ц	Значение	
			Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа
1	250	0,35	2420	48,8
2	350		2426	48,9
3	450		2428	50,2
4	250	0,45	2405	39,7
5	350		2406	41,2
6	450		2410	39,6
7	250	0,55	2358	28,8
8	350		2367	28,4
9	450		2333	29,3

Полученные данные подтверждают известные закономерности о влиянии водоцементного соотношения на плотность и прочность бетона. Учитывая, что для дальнейших испытаний будет применяться замораживание бетона и выдерживание его при отрицательной температуре, принято использовать составы под номерами 3, 6 и 9.

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. Такой исход можно ожидать, если прочность структуры бетона или раствора, сформировавшейся к началу замерзания воды, будет ниже, чем создаваемое льдом давление. На данном этапе дополнительно проявляются антифризные свойства противоморозной добавки, так как снижение температуры замерзания воды - одна из важнейших характеристик противоморозной добавки.

В таблице 3.4. 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 3.4 – Динамика набора прочности бетона после размораживания и твердения в нормальных условиях.

№ состава	Характеристика	Значение показателей после оттаивания образцов, суток					
		1	2	3	7	28	60
3	Плотность	2410	2412	2405	2498	2395	2390
	Прочность	7,74	15,8	23,4	29,2	38,9	50,8
6	Плотность	2370	2682	2371	2363	2341	2339
	Прочность	5,1	11,1	15,8	19,7	33,6	39,9
9	Плотность	2323	2323	2320	2315	2308	2298
	Прочность	3,7	7,4	11,2	14,4	23,7	29,7

*Единицы измерения плотности – кг/м³, прочности – МПа.

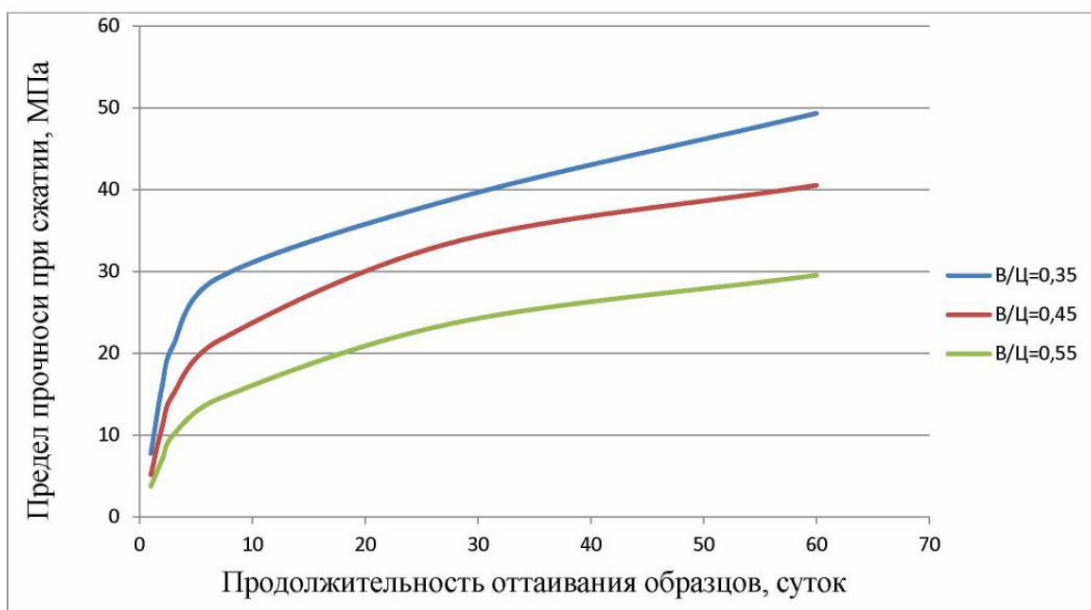


Рисунок 3.2 - Динамика набора прочности бетонных образцов после оттаивания и твердения в нормальных условиях

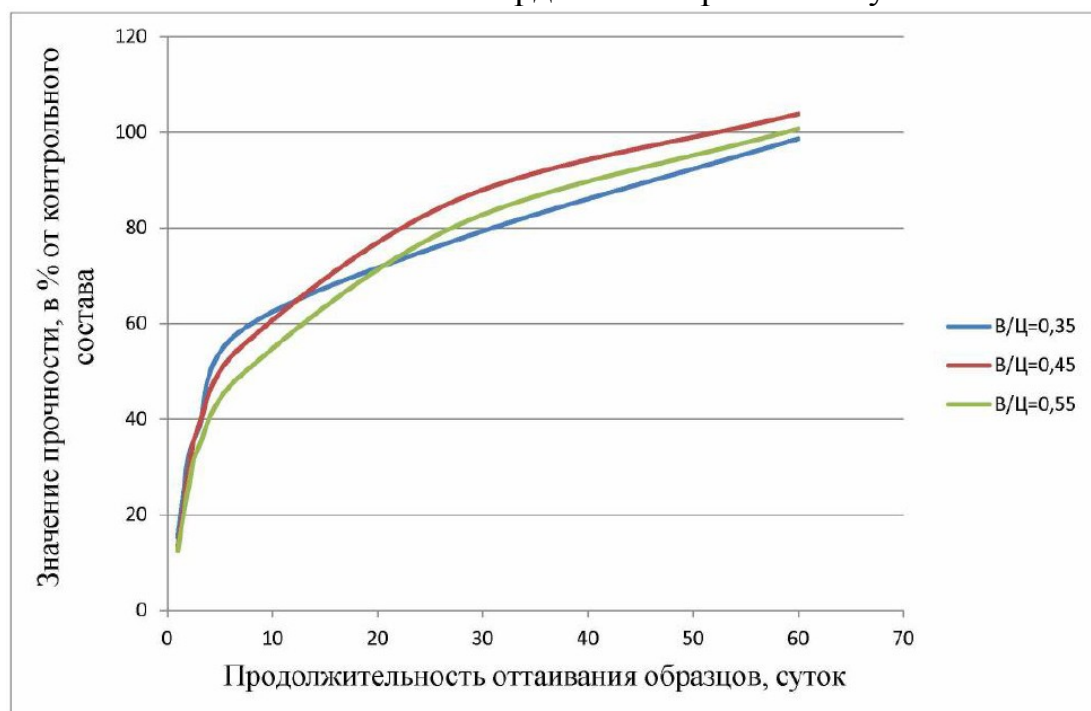


Рисунок 3.3 - Динамика набора прочности бетонных образцов после оттаивания и твердения в нормальных условиях

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 (Рисунок 3.3) установлено, что вне зависимости от соотношения В/Ц конечная прочность бетона (в возрасте 28 суток нормального твердения), подвергаемого замораживанию после формования, находится на уровне 80-85% от контрольных составов (твердеющих в нормальных условиях без предварительного замораживания).

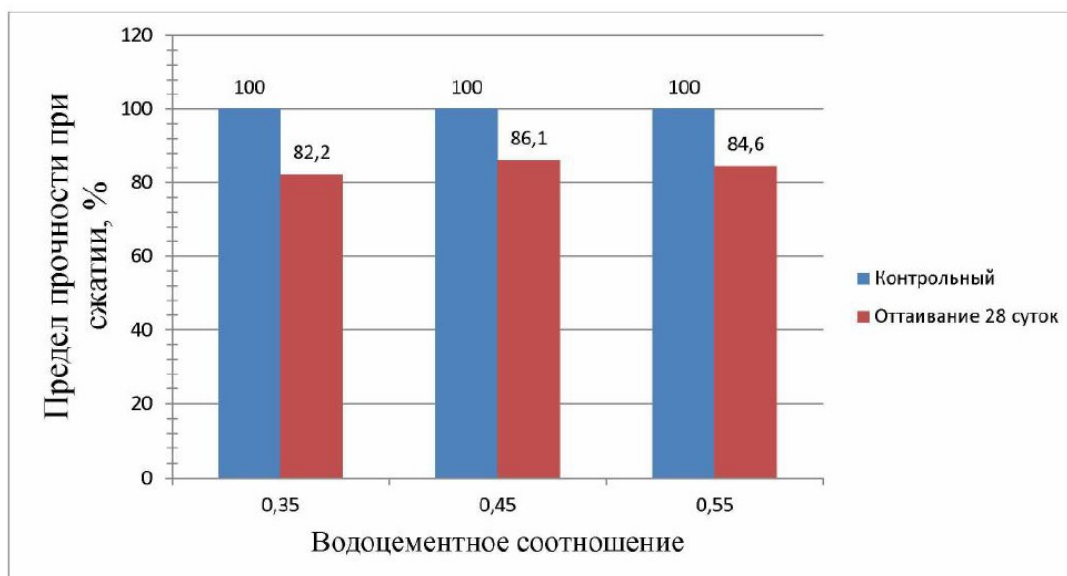


Рисунок 3.4 - Сравнение предела прочности при сжатии составов, подвергавшихся предварительному замораживанию и твердевших в нормальных условиях до 28 суток по сравнению с контрольными

Так как во всех составах был одинаковый расход цемента, а также противоморозной добавки, то в зависимости от водоцементного соотношения концентрация добавки в бетонной смеси была разная.

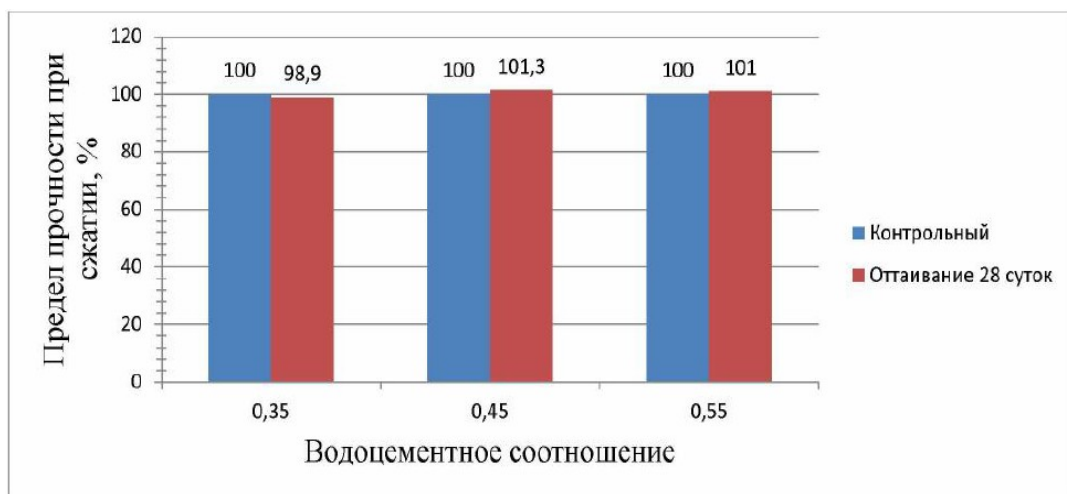


Рисунок 3.5 - Сравнение прочности составов, подвергавшихся замораживанию и твердевших в нормальных условиях до 60 суток в сравнении с контрольными

Для дополнительного изучения вопроса о влиянии концентрации противоморозной добавки в бетонной смеси на прочность при замораживании дополнительно изготовлены партии образцов бетона с повышенным содержанием противоморозной добавки. Результаты указанных испытаний приведены в таблице 3.5. Таблица 3.5 - Влияние концентрации противоморозной добавки в бетонной смеси на темпы набора прочности бетона после размораживания и твердения в нормальных условиях.

Состав	Содержание противоморозной добавки, %	Прочность					
		1	2	3	7	28	60
3	4,5	7,7	15,8	23,4	29,2	41,1	49,2
	9	9,3	18,6	28,8	34,5	49,4	–
6	4,5	5,1	11,1	15,8	19,7	33,6	39,1
	9	6,0	13,4	19,1	23,6	38,5	–
9	4,5	3,7	7,7	11,2	14,4	23,7	27,6
	9	4,3	9,2	13,4	17,4	27,4	–

На обобщенном графике (рисунок 3.6) представлена графическая интерпретация таблицы 3.5, а также прочность контрольных составов, не подвергавшихся замораживанию. Из диаграммы видно, что при увеличении противоморозной добавки до 8% происходит достижение практически 100% прочности контрольного состава после оттаивания и твердения в нормальных условиях 28 суток, однако, дозировка в 8% является большой и для применения в бетонах запрещается нормативной документацией.

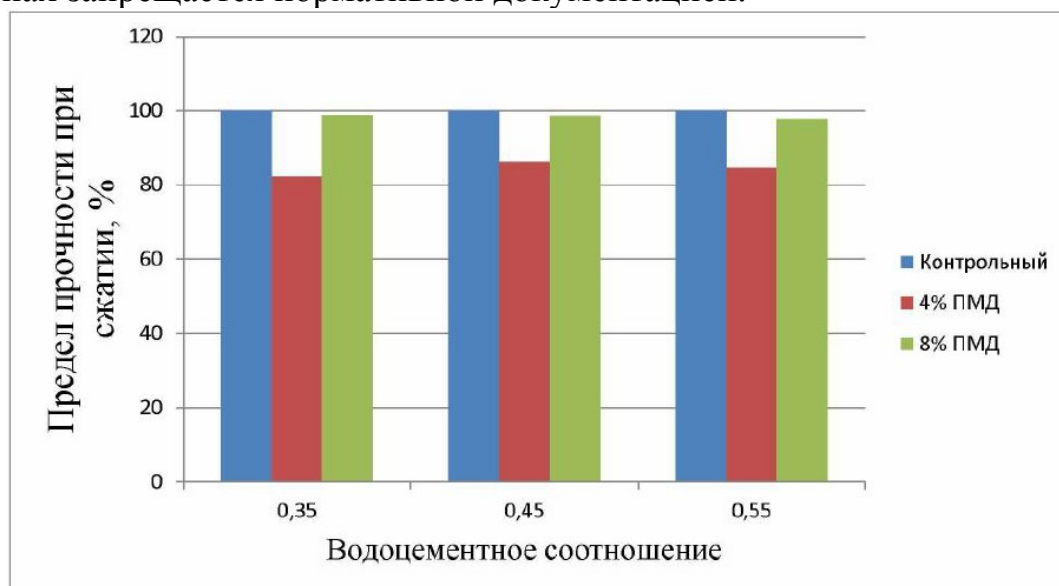


Рисунок 3.6 - Влияние количества противоморозной добавки на марочную прочность бетона после твердения в нормальных условиях до 28 суток.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была определена особенность гидратации цемента и твердения «холодных» бетонов. Необходимость применения противоморозных добавок существует, однако необходимо производить полные исследования влияния добавок на свойства бетона, его долговечность. Также можно отметить экономический эффект от применения противоморозных добавок. Эффективность исследуемых добавок входит в рамки требований стандартов, однако, сужение пределов нормативной документации, в частности для области «зимних» процессов строительства, позволило бы дать толчок к развитию данной отрасли,

который необходим получения новых продуктов, способных решать различные задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».
2. Добавки в бетон: справочное пособие / по ред. В. С. Рамачандрана. - М.: Стройиздат, 1988.
3. Ратинов, В. Б. Добавки в бетон / В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. - М.: Стройиздат, 1989.
4. ГОСТ 10060-2012 Бетоны.
5. ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола.
6. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.
7. ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Методы испытаний.
8. ГОСТ 10060.2-95. Бетоны. Ускоренные методы определения морозостойкости при многовариантном замораживании и оттаивании.
9. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2015.
10. ГОСТ 26633-2012 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2014.
11. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2015.
12. Ратинов, В. Б. Добавки в бетон / В. Б. Ратинов, Т. И. Розенберг. 1989г.
13. Модификаторы цементных бетонов и растворов (Технические характеристики и механизм действия). Учебное пособие. / Л. Я. Крамар, Б. Я. Трофимов, Е. А. Гамалий и др.
14. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты. В. М. Москвин, С. Н. Алексеев, Ф. М. Иванов, Е. А. Гузеев, - М.: Стройиздат, 1980

15. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.
16. ГОСТ 30459-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности.