

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

ВКР ПРОВЕРЕНА  
Рецензент

«    »

2021г.

/

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой

«    »

/А.А. Орлов/

2021 г.

**Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе**  
**08.04.01.2020.305.00.00.ПЗ**

**Повышение морозостойкости бетона с использованием водоредуцирующих  
и воздухововлекающих добавок для регионов Крайнего Севера**

Руководитель ВКР

/ В.А. Абызов /

«    »

2021 г.

Автор ВКР

Студент группы АС –392

/ Д.А. Эвнин /

«    »

2021г.

Нормоконтролёр

/Т.Н. Черных/

«    »

2021 г.

Челябинск  
2021

## АННОТАЦИЯ

Эвнин Д.А. Повышение морозостойкости бетона с использованием водоредуцирующих и воздухововлекающих добавок для регионов Крайнего Севера – Челябинск: ЮУрГУ, СМиИ, 2021, 80 с., 6 ил., 37 табл.

Библиографический список – 53 наименований.

В выпускной квалификационной работе рассмотрено влияние комплексного использования водоредуцирующей и воздухововлекающей добавки на морозостойкость бетона. Приведены методы и результаты испытаний применяемых материалов. Рассмотрены методы повышения морозостойкости бетона. Подобран оптимальный состав бетона, удовлетворяющий требованиям проекта.

Изм	Дата	№ докум.	Подпись	Дата	08.04.01.2020.305.00.00.ПЗ			
Разраб.		Эвнин Д.А.			Повышение морозостойкости бетона с использованием водоредуцирующих и воздухововлекающих добавок для регионов Крайнего Севера	Литера	Лист	Листов
Проверил		Абызов В.А.				ВКР	4	81
Нормоконтр.		Черных Т.Н.				ЮУрГУ (НИУ)		
Зав. каф.		Орлов А.А.				Кафедра «Строительные материалы и изделия»		

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1.1 Понятие морозостойкости бетона .....	7
1.2 Морозная деструкция цементных бетонов .....	11
1.3 Способы повышения морозостойкости портландцементных бетонов .....	13
1.4 Повышение морозостойкости бетонов с использованием воздухововлекающих добавок.....	17
1.5 Повышение морозостойкости бетонов с использованием водоредуцирующих добавок. ....	19
1.6 Особенности бетонных работ в условиях Крайнего Севера.....	22
ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ .....	25
2 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ.....	26
3 ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	28
4 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	30
5 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ .....	44
5.1 Результаты испытаний применяемых материалов .....	44
5.2 Проверка базового состава бетонной смеси и бетона.....	48
5.3 Выбор цемента .....	50
5.4 Выбор химических добавок.....	52
ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ .....	65
6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	67
7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	69
7.1 Общие положения техники безопасности .....	69
7.2 Техника безопасности при работе с добавками .....	73
Заключение.....	74
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	75

## ВВЕДЕНИЕ

Бетон – искусственный каменный материал, получаемый в результате формования и затвердевания рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси вяжущего, заполнителей, воды и добавок.

Строительство зданий и сооружений с применением бетонных и железобетонных конструкций в условиях Крайнего Севера осложнено неблагоприятными климатическими условиями. Конструкции из бетона и железобетона подвергаются агрессивным воздействиям окружающей среды, в том числе попеременному замораживанию-оттаиванию. Основная климатическая особенность Крайнего Севера – длительный сезон с отрицательными среднесуточными температурами. Повышение морозостойкости бетона является одним из основных путей обеспечения их долговечности.

В связи с непростым географическим положением объектов на Крайнем Севере, существует проблема завоза материалов, что осложняет подбор состава бетона, удовлетворяющий всем требованиям проектной документации.

В 2019 году крупнейшей компанией ОАО «Сургутнефтегаз», осуществлялось строительство ответственного объекта «Линия электропередачи воздушная 35 кВ» (переход через реку Иртыш).

Для бетонирования основных конструкций на объекте — свай и ростверков ОАО «Сургутнефтегаз» разработал базовой состав бетонной смеси.

В процессе строительства возникла проблема с подбором состава бетонной смеси для устройства ростверков. Базовый состав бетона не удовлетворял требованиям проектной документации по морозостойкости.

# 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1 Понятие морозостойкости бетона

Долговечность строительных материалов – способность строительных материалов сохранять прочностные, физические и другие свойства в установленный период времени.

В суровых климатических условиях морозостойкость – одна из ключевых характеристик, существенно влияющих на долговечность бетонов и конструкций на их основе.

В общем смысле понятие морозостойкость материала обозначает его способность в насыщенном водой состоянии выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без видимых признаков разрушения и без значительного понижения прочности.

Согласно определению, морозостойкость бетонов определяется количеством циклов попеременного замораживания и оттаивания образцов, в течение которых сохраняется их внешняя целостность и физико-механические характеристики находятся в допустимых государственным стандартом пределах [1].

Действующий государственный стандарт ГОСТ 10060-2012 регламентирует два вида методов определения морозостойкости бетонов – базовые и ускоренные [2]. В пределах данного подразделения способ необходимо назначать в зависимости от видов испытываемых бетонов, условий их предполагаемой эксплуатации и назначения. Отдельным приложением этого стандарта регламентируется испытание образцов, отобранных из конструкций. В базовом методе в качестве среды насыщения может быть использована вода для обычных бетонов и пятипроцентный раствор хлорида натрия для бетонов дорожных покрытий и аэродромов. В ускоренных методах в качестве среды насыщения используется только раствор хлорида натрия. Третий ускоренный метод отличается от всех остальных тем, что замораживание и оттаивание происходит в растворе хлорида натрия, тогда как в других способах используется воздушная

среда замораживания. Данный метод используется для испытания на морозостойкость бетонов для дорог и аэродромов [3].

Так же для определения морозостойкости используют ультразвуковой метод. Морозостойкость бетона определяют по результатам измерения времени распространения ультразвука в образцах в процессе их попеременного замораживания и оттаивания. Морозостойкость бетона оценивают по критическому числу циклов замораживания и оттаивания, начиная с которого происходит резкое увеличение времени распространения ультразвука в испытуемых образцах, соответствующее началу интенсивного разрушения бетона.

Многие исследователи ставили перед собой задачу выяснить причины, вызывающие деструкцию бетонов при попеременном замораживании и оттаивании [4].

Самое простое объяснение появления деструкции бетонов при циклическом воздействии замораживания и оттаивания заключается в том, что вода, заполняющая капиллярные поры бетона, постепенно превращается в лед с увеличением в объеме на 9 %. Фронт промерзания при этом движется внутрь капиллярной поры, и на оставшуюся воду передается давление образовавшегося льда. В результате вода давит на стенки пор и провоцирует постепенное разрушение структуры [5].

Известна так же гипотеза о морозном разрушении бетона на основе разницы коэффициентов линейного термического расширения компонентов бетона, выдвинутая В. М. Москвиным [6]. Так как заполнители бетона и цементный камень имеют различные коэффициенты линейного термического расширения, при отрицательных температурах несовместимость, составляющих бетона резко увеличивается. Однако такие термические напряжения играют ведущую роль лишь в ненасыщенном влагой бетоне.

В настоящее время общепринятой является гипотеза гидравлического давления Т. Пауэрса [3]. Согласно этой гипотезе, основной причиной разрушения бетона при периодических циклах замораживания и оттаивания является

гидравлическое давление, возникающее в порах и капиллярах бетона под влиянием замерзающей воды в результате сопротивления гелевой составляющей цементного камня. Также Пауэрс утверждает, что в бетоне есть резервные воздушные поры, в которые вытесняется вода из-за избыточного количества влаги. При этом не происходит нарушения структуры бетона. Разрушение произойдет в том случае, если условно замкнутые поры заполнятся водой и не смогут выполнять функции резервных. После оттаивания часть воды остается в резервных макропорах, заполняя их постепенно с каждым циклом замораживания и оттаивания. Данная гипотеза объясняет тот факт, что скорость морозного разрушения бетона увеличивается с увеличением скорости замораживания, а также показывает важную роль условно замкнутых пор, способствующих повышению морозостойкости бетона. На основе этого мы можем сделать некоторый вывод: морозостойкость бетона зависит от его строения.

Таким образом, достоверно известно, что разрушение бетона при циклическом замораживании и оттаивании может быть вызвано как давлением образующегося в порах льда, вызванное увеличением объема воды на 9%, так и давлением, возникающим в капиллярах при отжати возникающего избытка воды.

В процессе затвердевания по мере химического связывания и испарения воды затвердевания в цементном камне образуются, три вида пор: поры цементного геля; капиллярные поры 0,011 мкм; условно замкнутые поры 10-500 мкм. В порах диаметром менее 0,001 мм вода практически не замерзает, приобретая свойства псевдотвердого тела. Таким образом, наиболее опасным дефектом цементного камня считаются именно капиллярные поры. Их количество в большой степени зависит от степени гидратации цемента, чем она выше, тем большее количество геля образуется и заполняет собой капиллярные поры [4].

В то же время, Б.Я.Трофимов и ряд других исследователей в своих работах отмечают, что на стойкость бетонов к циклическому замораживанию и оттаиванию значительное влияние оказывает структура гидратных фазцементного камня — соотношение кристаллических и аморфизированных фаз [5,6,7,8,9].

В целом, на морозостойкость бетонов в значительной мере влияет комплекс факторов, включающий прочность, льдистость, все виды пористости, водоцементное отношение, содержание воздуха, степень водонасыщения и многих других [10,11,12,13,14,15,16].

Морозостойкость бетона обусловлена, прежде всего, строением его порового пространства. Чтобы получить морозостойкий бетон, толщина прослоек между воздушными порами в его матрице не должна превышать 0,025 см. Поэтому для надлежащего эффекта необходимо обеспечить не только определенный объем воздухововлечения, но и получение воздушных пор как можно меньшего размера, что позволит уменьшить их общий объем и будет способствовать повышению морозостойкости бетона при наименьшем снижении его прочности вследствие воздухововлечения. Их можно использовать не только как центры кристаллизации, но и как объекты, изменяющие направление и регулирующие скорость физико-химических процессов в твердеющих материалах.

Также, известно, что бетоны, подвергаемые тепловлажностной обработке, обладают более низкой морозостойкостью чем бетоны, твердеющие в нормальных условиях, за счет увеличения объема суммарной пористости в структуре пропаренного цементного камня и смещения баланса порового пространства цементного камня в область макропор [17].

Деструкция образцов бетона при циклическом замораживании часто проявляется в виде шелушения их поверхности. Такой характер разрушения является следствием наиболее быстрого изменения температуры поверхности образцов, когда температурные деформации неравномерны по толщине.

Исходя из известных факторов, оказывающих влияние на степень стойкости бетонов к циклическому замораживанию и оттаиванию, можно определить возможные способы повышения морозостойкости.



## 1.2 Морозная деструкция цементных бетонов

В настоящее время бетоны рассматриваются как композиционные материалы, имеющие капиллярно-пористое строение. Под структурой бетона понимается его строение на самых различных уровнях. Обычно для цементных бетонов принято выделять три основных типа структур: - микроструктура - строение цементного камня; - мезоструктура - строение цементно-песчаного раствора; - макроструктура - строение собственно бетона [37].

В начальный период формирования структуры, вода затворения образует систему взаимосвязанных капилляров, беспорядочно расположенных по всему объему твердеющего цементного камня. При этом, общая и интегральная пористость имеют одно и то же значение. С течением времени, в условиях продолжающейся гидратации цемента, общая и интегральная пористости цемента уменьшаются, но интегральная пористость уменьшается более интенсивно вследствие образования условно замкнутых пор. Изучению стойкости бетонов к воздействию мороза в водонасыщенном состоянии и повышению их морозостойкости посвящено большое число исследований в нашей стране и за рубежом. Уже первыми исследователями было установлено, что основной причиной разрушения бетона является изменение фазового состава воды при понижении температуры [37].

Исходя из этого, было выдвинуто много гипотез о преимущественной роли того или иного фактора, вызывающего деструкцию бетона (Р. Коллинз, Н.А. Житкевич, гипотеза о гидравлическом давлении воды Т. Пауэрс, В.В. Стольников). Кроме вышеупомянутых учёных, значительные исследования по определению причин разрушения бетонов при попеременном замораживании и оттаивании выполнили многие другие отечественные и зарубежные учёные. В настоящее время большинство исследователей считают, что основополагающей причиной морозной деструкции цементных бетонов является фазовый переход воды в лед, сопровождающийся увеличением ее объема и возникновением напряжений в жестком каркасе цементного камня. Причиной разрушения бетона

может быть один или одновременно несколько вышеперечисленных деструктивных факторов.

Так как понижение температуры бетона при его замораживании начинается с поверхности материала, в начальный период, в открытых порах, находящихся на поверхности бетона, начинают возникать ледяные пробки, которые блокируют выход жидкости из бетона. Дальнейшее замораживание приводит к увеличению объёма льда. При этом в открытых порах возникает давление от образовавшихся и растущих кристаллов льда, передающееся на оставшуюся не замёрзшую часть поровой жидкости, в результате чего возникает гидростатическое давление на стенки пор бетона. Если открытые поры целиком заполнены жидкостью и не сообщаются с условно-замкнутыми порами, то при первом же замораживании начнётся разрушение бетона, т.к. возникающие при этом давления превосходят прочность бетона [37].

Если открытые поры целиком заполнены жидкостью и не сообщаются с условно-замкнутыми порами, то при первом же замораживании начнётся разрушение бетона, т.к. возникающие при этом давления превосходят прочность бетона

Однако бетоны выдерживают определённое число циклов замораживания и оттаивания без видимого разрушения. Это объясняется тем, что в структуре бетона имеются кроме открытых пор и условно замкнутые поры, которые заполнены воздухом или паровоздушной смесью. Образование таких пор происходит на стадии формирования условно дискретной системы капилляров, когда все эти поры со всех сторон блокированы цементным гелем и не могут заполняться водой даже в условиях водного твердения.

Обратный выход жидкости из условно-замкнутых пор в открытые поры невозможен т.к. они соединяются с открытыми порами и между собой тонкими капиллярами (порами цементного геля), потенциал которых много больше, чем капиллярный потенциал открытых и условно-замкнутых пор. При следующем цикле все описанные процессы повторяются, и так продолжается до тех пор, пока вся условно-замкнутая пора не заполнится жидкостью. Если эта пора не

соединена капиллярами с другими условно замкнутыми порами, то при следующем цикле замораживания начнётся разрушение бетона. В случае, когда имеется выход в другие условно замкнутые поры, жидкость из этой заполненной поры будет перемещаться в ещё не заполненные поры и разрушение бетона не происходит. Таким образом, при циклическом замораживании, в структуре бетона работает своеобразный «механизм» перемещения жидкости наподобие насоса, перекачивающего жидкость из открытых в условно-замкнутые поры. Когда все условно-замкнутые поры в каком-то микрообъёме бетона будут полностью водонасыщены и перемещаться жидкости будет некуда, при следующем замораживании под действием возникающего давления начнётся разрушение бетона [37].

### 1.3 Способы повышения морозостойкости портландцементных бетонов

Современный уровень разработок в области строительных цементов позволяет при использовании рядовых марок портландцемента путем ввода многофункциональных и комплексных добавок получать цементы со значительно улучшенными строительно–техническими свойствами – повышенной прочностью регулируемые сроками схватывания, повышенной морозостойкостью и другими характеристиками.

Исследователи Южно-Уральского государственного университета в некоторых своих работах для повышения морозостойкости портландцементных бетонов используют метакаолин [33]. Они отмечают, что добавка в дозировке 5% от массы вяжущего, оказывает незначительный эффект, повышая морозостойкость всего на сто циклов. При этом структура цементного камня состоит преимущественного из высокоосновных гидросиликатов кальция. Гораздо более значительный эффект показывает комплексная добавка метакаолина с микрокремнеземом и пластификатором СП-1. Такой комплекс обеспечивает формирование цементного камня, состоящего из низкоосновных гидросиликатовкальция и стабильных гидроалюминатов.

Аналогичным образом учёные проводили исследования, предлагающие повышать морозостойкость портландцементных бетонов путем введения тонкомолотого цеолита [34]. Изменение физико-механических свойств цементных композитов, получаемых с применением тонкомолотого цеолита, авторы связывают с наличием в цеолитах активных кремнезема и глинозема. Таким образом, цеолиты, выступая в роли активных минеральных добавок, интенсивно связывают образующуюся в процессе твердения портландцемента гидроокись кальция в низкоосновные гидросиликаты и гидроалюминаты кальция. Представляется, что при введении цеолита в систему свободная гидроокись кальция, образованная в результате гидратации цемента, вступает в реакцию с цеолитом и поглощается им. Это приводит к ускорению структурообразования в системе. Дополнительно образующиеся в процессе твердения низкоосновные гидросиликаты кальция уплотняют цементный камень и упрочняют его. С точки зрения повышения морозостойкости, большой интерес представляют экспериментальные данные о влиянии цеолита на показатели пористости, в частности средний размер пор, так как при заданной пористости, чем меньше размер пор и больше их однородность, тем выше прочность и морозостойкость, что подтверждается результатами исследований.

Многие исследования посвящены разработке комплексных добавок, повышающих качество бетонов, в том числе увеличивающих их долговечность.

Например, применение комплекса из эфиров поликарбоксилатов, сульфата натрия и полифенилэтилсилоксана [35]. Такая комплексная добавка позволяет получить бетоны марки по морозостойкости F<sub>1600</sub>-F<sub>1800</sub>. Способствует образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, повышает степень гидратации цемента до 29%, увеличивает удельную поверхность гидратных новообразований до 22%. Также автор утверждает, что комплекс добавок позволяет получить высокую раннюю прочность, снизить расход цемента до 30%, повысить водонепроницаемость до марки W20 и исключить необходимость тепловлажностной обработки.

Ученые Южно-Уральского государственного университета использовали для повышения морозостойкости портландцементных дорожных бетонов добавки диэтиленгликоля (ДЭГ) [36]. Рассматриваемая добавка адсорбируется на поверхности гидратирующих зерен цемента, замедляя выделение в жидкую фазу гидроксида кальция и способствует образованию аморфизированной структуры цементного камня.

Некоторые авторы предполагают, что бетоны с меньшим количеством пор является более устойчивым к воздействию циклов замораживания-оттаивания и предлагают применять алюминатный цемента из-за его меньшей, в отличие от портландцемента, пористости [37].

Для повышения морозостойкости портландцементных бетонов могут быть использованы не только активные минеральные добавки, но и инертные тонкодисперсные наполнители. Так, например, способом повышения плотности и морозостойкости упомянутых бетонов является введение в состав бетонной смеси мелкодисперсных минеральных добавок. Например, при введении тонкомолотого диопсида в количестве 9% от массы цемента авторы данного исследования добились повышения не только прочности, но морозостойкости образцов от F<sub>1</sub>150 (у контрольных образцов) до F<sub>1</sub>300 (у модифицированных образцов). Авторы исследования считают, что механизм повышения морозостойкости в данном случае связан с так называемым микроармированием цементного камня, перераспределением в нем напряжений и формированием благоприятной микропористости [38].

Эффективным способом повышения морозостойкости является пропитка цементных бетонов растворами солей-электролитов, что приводит к уменьшению объема капиллярных пор и, следовательно, улучшает эксплуатационные свойства бетонов [30]. При пропитке цементного камня растворами таких солей происходит их взаимодействие с продуктами гидратации цемента по реакции обмена и присоединения. При этом происходит образование этtringитоподобных фаз, гидромосульфалюминатных фаз и карбоната кальция. Объем капиллярных пор уменьшается на 60...65%, а микропор на 30...40%. Наибольший

эффект оказывают растворы нитрата натрия и сульфата натрия. Оптимальный расход солей для данного способа должен составлять не более 3...4%, чтобы не спровоцировать возникновение коррозии цементного камня.

Много работ исследователя Б. Я. Трофимова посвящено повышению морозостойкости бетонов, в том числе, подвергаемых тепловлажностной обработке. Такие бетоны имеют более низкую морозостойкость за счет большего объема пор. Например, в них отмечается повышение морозостойкости пропаренных бетонов, при использовании шлакопортландцементов с содержанием шлака от 45 до 50%, что объясняется образованием дополнительных продуктов гидратации благодаря активизации шлака при тепловлажностной обработке [24-26].

По мнению Б.Я. Трофимова, для получения сопоставимых с бетоном на портландцементе данных по морозостойкости необходимо обеспечить одинаковую степень гидратации цементов, то есть одинаковую степень заполнения первоначальных капиллярных объёмов продуктами гидратации. Технологически повышение плотности бетонов на шлакопортландцементе достигается либо увеличением гидравлической активности шлаков, либо уменьшением объёма капиллярных пор снижением количества воды затворения

В некоторых работах отмечается возможность получения бетонов высокой морозостойкости (F<sub>2</sub>300-F<sub>2</sub>500) без воздухововлекающих добавок только за счет формирования оптимальной структуры цементного камня за счет введения добавки микрокремнезема и снижения водовяжущего отношения [27,28].

Один из типов активных минеральных добавок – гранулированный доменный шлак. В процессе гидратации цемента, шлак способствует связыванию свободной извести в стабильные гелевидные гидросиликаты, обеспечивающие бетону способность релаксировать напряжения при фазовых переходах поровой жидкости в процессе замораживания. Это обстоятельство положительным образом влияет на его стойкость к циклическому замораживанию и оттаиванию.

Добиться повышения морозостойкости можно также путем гидрофобизации бетона [31]. Добиться повышения морозостойкости позволяет также небольшая

дозировка пуццолановых добавок (до 5 % от массы цемента) за счет образования дополнительного количества гидросиликатного геля, уплотняющего бетон. При введении таких добавок в больших количествах (30...40% от массы вяжущего) наблюдается обратный эффект из-за значительно возрастающей водопотребности смеси [32].

Однако, введение в состав бетона водоредуцирующих и воздухововлекающих являются наиболее популярными способами повышения морозостойкости бетона.

1.4 Повышение морозостойкости бетонов с использованием воздухововлекающих добавок.

Воздухововлечение — процесс образования в бетоне большого числа воздушных пузырьков, которые распределены в матрице из цементного камня, скрепляющего заполнитель. Хотя воздушные пузырьки распределены в объеме цементного камня, они остаются самостоятельной фазой. Для их образования в бетонную смесь вводят так называемые воздухововлекающие добавки [13].

Этот класс добавок открыт случайно в конце 30-х годов, когда обнаружили, что дорожные плиты, изготовленные в штате Нью-Йорк на некоторых видах цемента, оказались менее морозостойкими, чем на других цементах. Анализ показал, что в последние при помеле ввели вещества, содержащие рыбий и животные жиры и стеарат кальция, обладающие воздухововлекающим действием. С этого времени воздухововлечение стало существенным фактором повышения морозостойкости бетона при его попеременном замораживании и оттаивании [13].

Поскольку воздухововлекающие добавки оказались полезными и в некоторых других отношениях, их стали применять независимо от того, требовалось ли повысить долговечность бетона или эта задача не ставилась, за исключением тех случаев, когда возникала необходимость получить особо прочные бетоны. Так, воздухововлечение улучшает удобообрабатываемость бетонной смеси, а также уменьшает ее расслоение и водоотделение: укладка таких бетонных смесей требует меньше воды и песка. Хотя прочность бетона

благодаря воздухововлечению снижается, этот отрицательный эффект может быть компенсирован путем уменьшения водопотребности смеси.

Другой важный результат, достигаемый при введении воздухововлекающих добавок, сильное повышение морозостойкости бетона при его длительном замораживании. Бетоны без вовлеченного воздуха потенциально опасно эксплуатировать в подобных условиях, тогда как воздухововлекающие добавки снимают такую опасность, хотя и не гарантируют сохранность заполнителя в бетоне от разрушения в результате попеременного замораживания — оттаивания (они предохраняют только цементный камень).

Воздухововлекающие добавки не оказывают сколько-нибудь существенного влияния на степень гидратации цемента, ни на кинетику его тепловыделения. Даже если они изготовлены на основе веществ, способных замедлять процесс гидратации (например, на основе лигносульфонатов), то их содержание столь мало, что замедляющим действием можно пренебречь. Они также не влияют и на состав продуктов гидратации цемента. Единственный эффект, обеспечиваемый применением таких добавок, вовлечение в бетонную смесь воздушных пузырьков.

Известным способом повышения морозостойкости бетона, является увеличение объёма так называемой резервной пористости за счёт воздухововлечения в результате введения специальных воздухововлекающих или газообразующих добавок [18]. Использование такого типа добавок при получении бетонов высокой морозостойкости выше F<sub>1200</sub> или F<sub>2100</sub> обязательно согласно требованиям государственного стандарта [1].

При использовании воздухововлекающих добавок в смесь вовлекается до 8 % воздуха. Принцип повышения морозостойкости бетонов путем введения воздухововлекающих добавок основан на предотвращении разрушительного действия льда в капиллярах. Пузырьки воздуха образуют компенсирующие зоны. Образовавшиеся на пути капилляра воздушные полости не заполняются водой и дают возможность льду расширяться в них, снижая избыточное давление, разрушающее бетон. Государственным регламентом установлено, что для бетонов



с высокими требованиями по морозостойкости введение воздухововлекающих добавок обязательно [19].

При определенных условиях возможно снижение прочности бетонов, при производстве которых использовались воздухововлекающие добавки за счет снижения плотности бетонной смеси. Данный эффект может быть нивелирован при количестве вовлекаемого воздуха, не превышающем 5% пластифицирующими свойствами добавки, позволяющими снизить также и водоцементное отношение.

Рекомендуется использовать воздухововлекающие добавки в небольших дозировках, так как помимо эффекта повышения морозостойкости возможно нарушения сроков схватывания цементного камня. Оптимальные дозировки таких добавок имеют порядок тысячных долей процентов. Для наилучшего распределения столь малых дозировок добавки рекомендуется вводить их совместно с тонкодисперсными минеральными наполнителями [20].

#### 1.5 Повышение морозостойкости бетонов с использованием водоредуцирующих добавок.

Так как добавки-пластификаторы не повышают морозостойкость сами по себе, они могут быть использованы для повышения морозостойкости бетонов в том случае, если они используются для водоредуцирования, за счет чего снижается водоцементное отношение смеси и количество капиллярных пор в цементном камне.

В случае использования добавок именно с целью повышения подвижности бетонных смесей целесообразно искать предпосылки повышения морозостойкости с точки зрения их влияния на формирование структуры цементного камня и бетона.

О тесной взаимосвязи морозостойкости портландцементных бетонов с фазовым составом цементной матрицы говорят исследователи Южно-Уральского государственного университета [39]. Они отмечают, что морозостойкость образцов бетона неизменного состава, твердевших до циклического

замораживания в различных условиях, изменяется более чем в 14 раз, тогда как открытая капиллярная пористость меняется незначительно, а льдистость – в 6 раз. Таким образом, на стойкость бетона к циклическому замораживанию в водонасыщенном состоянии влияет состояние и стабильность гидратных фаз цементного камня, определяющих прочность структурных связей и проницаемость бетона.

Рассмотрим добавки пластификаторы типа лигносульфонатов технических, нафталинформальдегидных и поликарбоксихлоридных более подробно.

Пластификаторы типа лигносульфоната технического известны уже более полувека. Добавка имеет вид мелкодисперсного порошка желтого цвета с характерным резким запахом.

Механизм действия данного типа добавок объясняется электростатическим отталкиванием зерен цемента, покрытых пленкой ЛСТ с отрицательным зарядом [43]. В процессе изготовления пластифицированной бетонной смеси твердые компоненты смачиваются ЛСТ. Являясь хорошим диспергатором и за счет трения зерен твердых компонентов при смешивании, в водный раствор поставляются мелкие твердые частицы, в основном цемента. Механизм действия данного типа добавок объясняется электростатическим отталкиванием зерен цемента, покрытых пленкой ЛСТ с отрицательным зарядом [43]. В процессе изготовления пластифицированной бетонной смеси твердые компоненты смачиваются ЛСТ. Являясь хорошим диспергатором и за счет трения зерен твердых компонентов при смешивании, в водный раствор поставляются мелкие твердые частицы, в основном цемента. Возникающие между пленкой ЛСТ и зерном цемента, молекулы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , повышают pH среды. Вначале щелочь является хорошим пластификатором и придает пленкам эластичность и гибкость, улучшая технологические свойства ЛСТ. В дальнейшем в щелочной среде углерод-углеродные связи сульфоната и лигнина разлагаются: идут процессы гидролиза и омыления [40].

Процесс диспергирования, особенно зерен цемента, сопровождается выделением воздуха [44]. Таким образом, некоторый эффект повышения

морозостойкости при применении добавки ЛСТ может быть обеспечен и без водоредуцирующего эффекта.

Пластификаторы типа нафталинформальдегидных как правило представляют собой смесь натриевых солей полиметиленнафталинсульфокислот разной молекулярной массы и выпускаются в виде порошка или жидкого раствора на водной основе.

На сегодняшний день наиболее широко распространенной добавкой-пластификатором данного типа является суперпластификатор С-3, который выпускается большим количеством производителей добавок для бетонных смесей, часто с собственными коммерческими названиями. С-3 представляет собой смесь натриевых солей полиметиленнафталинсульфокислот различной молекулярной массы.

В целом, С-3 является универсальной добавкой для цемента при производстве бетона и железобетона. С-3 легко смешивается с водой, с другими добавками-гидрофобизаторами, ускорителями или замедлителями схватывания и др., благодаря химически малоактивной формуле.

Пластификаторы на основе поликарбоксилатов относят к классу гиперпластификаторов и представляет собой порошок продукт, полученный методом распылительной сушки.

Новое поколение пластификаторов, полученных на базе поликарбоксилатных эфиров, обеспечивает высокую подвижность и связность бетонных смесей при низких значениях водоцементного отношения, длительную сохраняемость их свойств.

Действие пластификаторов поликарбоксилатного типа основано на совокупности электростатического и стерического (пространственного) эффекта, который достигается с помощью боковых гидрофобных полиэфирных цепей молекулы поликарбоксилатного эфира. За счет этого водоредуцирующее действие таких пластификаторов в несколько раз сильнее, чем у обычных.

Механизм влияния поликарбоксилатных пластификаторов на гидратацию цемента и долговечность цементных материалов, в том числе морозостойкость, до

сих пор остается недостаточно исследованным, несмотря на то что, было проведено значительное количество исследований на эту тему.

Например, ученые Южно-Уральского государственного университета проводили исследования, посвященные изучению влияния суперпластификатора на основе эфиров поликарбоксилатов на стойкость цементного камня при циклических воздействиях «замораживание-оттаивание» в водонасыщенном состоянии. Было зафиксировано повышение морозостойкости цементного камня при введении данной добавки, при этом были сделаны выводы, что такой эффект может быть вызван замедлением перекристаллизации высокоосновных ГСК и снижением основности под влиянием коррозии выщелачивания.

При замораживании и оттаивании из гелеобразных областей метастабильной C-S-H-фазы, пересыщенной по отношению к CaO, изначально присутствующих в структуре модифицированного камня, начинает кристаллизоваться вторичный портландит, что замедляет коррозионные процессы. Это подтверждается значительно большим содержанием портландита в цементном камне после марочного числа циклов замораживания и оттаивания по сравнению с камнем без добавок [50].

#### 1.6 Особенности бетонных работ в условиях Крайнего Севера

В истории отечественного строительства и архитектуры особое место занимают вопросы, связанные с индустриальным освоением сложных в климатическом отношении районов. До настоящего времени специалисты сталкиваются с проблемами качественной и быстрой постройки зданий в условиях Крайнего Севера, т.к. в данных природных условиях необходим совершенно другой подход в строительстве, что отражено в различных исследованиях. Ведь северные широты отличаются обширными территориями с вечномёрзлыми грунтами. Для постройки жилых домов используются передовые технологии, т.к. здание должно не навредить первоначальной структуре грунта. При строительстве всегда сталкиваются с проблемой оттаивания вечномёрзлых грунтов под зданием.

Для сохранения грунта в первоначальном состоянии используют холодные подполья, холодные первые этажи, охлаждающие каналы и трубы, термоизолирующие насыпи, а также заменяют льдонасыщенные грунты на талые, песчаные и крупнообломочные породы, при применении предварительного искусственного оттаивания вечномерзлых пород.

Тем не менее, для обеспечения стойкости тяжелого бетона в суровых условиях эксплуатации необходимы дополнительные сведения о механизме разрушения при циклическом воздействии влаги, отрицательных температур или механических нагрузок. Известно, что при внешнем механическом воздействии вокруг макро и капиллярных пор бетона концентрируются напряжения, превышающие их средние значения в 1,7–2,0 раза, что существенно повлияет на стойкость при воздействии отрицательных температур на увлажненный бетон в северной строительной-климатической зоне. Особенности изменения структуры бетонов с поликарбонатными добавками и микрокремнеземом в суровых климатических условиях при циклических физико-механических воздействиях требуется исследовать дополнительно. Необходимо установить взаимосвязь между фазовым составом, микроструктурой цементного камня и стойкостью тяжелого бетона к физико-механическим внешним циклическим воздействиям в суровых условиях эксплуатации.

При оттаивании мёрзлого основания возникают деформации, которые являются основной причиной разрушения строительных конструкций. Поэтому для обеспечения устойчивости зданий и сооружений, возводимых на данных грунтах, принимают меры по предотвращению недопустимых деформаций, способных привести к разрушению. Их появлению могут способствовать как ошибки при инженерных изысканиях или проектировании, так и неравномерное морозное пучение, которое случается в результате замерзания грунтов. Помимо этого, из-за неравномерного оттаивания замерзшего грунта может наблюдаться неравномерная просадка основания сооружений, и, наконец, нарушения технологии проведения работ.

Технологии строительства промышленных объектов северных широтах имеют не менее большое значение, т.к. дальнейшее развитие промышленного освоения Севера требует создания целых комплексов, например, газодобывающих и нефтегазовых объектов [5].

## ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

1. Морозостойкость – один из ключевых физико-механических показателей, характеризующих долговечность портландцементных бетонов. Существует несколько непротиворечащих друг другу гипотез о причине возникновения разрушительного эффекта от циклического замораживания и оттаивания образцов. Главным образом разрушение происходит вследствие возникновения избыточного давления замерзающей воды в капиллярных порах.

2. Существует множество способов повышения морозостойкости портландцементных бетонов, главным образом направленных на оптимизацию его структуры – снижение капиллярной пористости и вовлечение пузырьков воздуха, являющихся компенсирующими зонами, воспринимающими избыточное давление воды, расширяющейся при застывании.

3. Добиться оптимальной структуры цементного камня в бетоне возможно путем использования водоредуцирующих добавок. Таким образом, можно добиться снижения водоцементного отношения смеси и как следствие избежать образования большого количества капиллярных пор после затвердевания.

4. Добавки-пластификаторы способствуют не только снижению водоцементного отношения смеси, но и оказывают влияние на формирование структурного состояния фаз цементного камня. Особенно выражен этот эффект при использовании пластификаторов в комплексе с активными минеральными добавками. Фазовый состав цементного камня оказывает влияние на физико-механические свойства получаемых на его основе бетонов также как и количество капиллярных пор в структуре.

## 2 ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

В 2019 году ОАО «Сургутнефтегаз» осуществлял строительство воздушной линии электропередачи 35 кВ (переход через реку Иртыш). Согласно проектной документации, бетон, применяемый для железобетонных элементов линии (ростверки и др.) должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Класс бетона по прочности на сжатие В30
2. Марка бетона по морозостойкости F<sub>1300</sub>

Согласно проектной документации основные требования к бетонной смеси:

1. Сохраняемость – 120 минут
2. Марка по удобоукладываемости – П4

Разработанный компанией ОАО «Сургутнефтегаз» базовый состав не удовлетворяет требованиям проекта по морозостойкости бетона и сохраняемости бетонной смеси.

Цель выпускной квалификационной работы – повысить морозостойкость бетона класса В30, в условиях нормального твердения, до марки F<sub>1300</sub>, путём введения модифицирующих добавок, с использованием инертных материалов из местного сырья в условиях Крайнего Севера.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Оценка качества основных применяемых материалов и определение их соответствия требованиям нормативной документации;
2. Изучение свойств бетонной смеси и бетона базового состава;
3. Исследование возможности перехода на портландцемент с минеральными добавками (с ЦЕМ I на ЦЕМ II/A-III);
4. Выбор водоредуцирующей и воздухововлекающей добавки;
5. Исследование влияния комплекса водоредуцирующей и воздухововлекающей добавки на морозостойкость бетона;
6. Подбор состава бетона, соответствующего требованиям нормативной документации (проекта);



7. Оценка экономической эффективности разработанного состава бетона.

### 3 ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

На объекте строительства «Линии электропередачи 35 кВ» (переход через реку Иртыш) существуют запасы инертных материалов: песок и щебень. Замена инертных материалов не представляется возможной в связи со сложностью географического положения объекта. В связи с имеющимися условиями, проблему подбора состава тяжелого бетона приходится решать на имеющихся инертных материалах.

Таблица 1 – Инертные материалы

Название материала	Производитель
Песок-мелкий I класс	ООО «Порт Пермь», г. Пермь
Щебень смесь фр.5-20	ООО «Барзасский карьер», г. Березовский, п. Барзас

Выбор вяжущего вещества тоже ограничен. Имеющейся цементнаобъекте можно заменить цементом того же завода изготовителя. Вяжущие материалы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Вяжущее вещество

Название материала	Производитель
ЦЕМ I 32,5 Н	ОАО «Сухоложскцемент», г. Сухой Лог
ЦЕМ II/A-III 32,5 Б	ОАО «Сухоложскцемент», г. Сухой Лог

Вода затворения представлена ОАО «Сургутнефтегаз».

Существует возможность использовать другие химические добавки. Проанализировав предложения рынка воздухововлекающих и водоредуцирующих добавок с позиции качества, цены, доступности и других показателей, были выбраны добавки, представленные в таблице 3.

Таблица 3 – Химические добавки

Название материала	Форма (жидкость или порошок)	Рекомендуемая дозировка в % от массы цемента	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Производитель
«Реламикс тип 2»	Жидкость	0,6-1,5	1,20	ООО «ПОЛИПЛАСТ-УралСиб», г. Первоуральск
«ReoTeck DR5300»	Жидкость	0,4-1,4	1,06	«Евросинтез», г. Магнитогоск
«Полипст-Люкс»	Жидкость	1,0-2,5	1,15	ООО «ПОЛИПЛАСТ-УралСиб», г. Первоуральск
«Master Air 125»	Жидкость	0,05-1,0	1,0	«BASF», г. Челябинск
«Полипласт-Аэро»	Жидкость	0,3-0,5	1,0	ООО «ПОЛИПЛАСТ-УралСиб», г. Первоуральск

#### 4 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В таблице 4 приведены основные методы испытания сырьевых материалов, применяемых в строительном процессе объекта «Линия электропередачи воздушная 35 кВ (переход через реку Иртыш)», удовлетворяющих требованиям ГОСТ 26633-2015.

Таблица 4 – Методы контроля и качества вяжущего вещества, применяемое основное оборудование и средства измерений

Материалы, показатели	Метод контроля и краткое описание методики испытания	Применяемое основное оборудование и средства измерений
Начало схватывания	ГОСТ 30744, п.6.2.2 Начало схватывания цементного теста определяли на приборе Вика ОГЦ-2. Иглу погружали в цементное тесто через каждые 10 мин. Началом схватывания считают время от начала затворения цемента до момента, когда игла при проникновении в цементное тесто не доходит до пластинки на $(4\pm 1)$ мм.	Прибор Вика ОГЦ-2 Весы лабораторные ВК-3000.1
Прочность на сжатие	ГОСТ 30744, п.8.2.4 Прочность на сжатие определяли на половинках образцов-балочек в возрасте 2 и 28 суток	Весы лабораторные ВК-3000.1 Машина универсальная испытательная УММ-10 Машина для испытаний на сжатие МС- Штангенциркуль цифровой двусторонний с глубиномером ШЦЦ-1-300-0,01 Пластины нажимные для передачи нагрузки на половинки образцов-балочек, ПЛБ, № 4
Равномерность изменения объёма	ГОСТ 30744 п.7 Равномерность изменения объёма цемента определяли по величине расширения образца из цементного теста нормальной густоты в кольце ЛеШателье при кипячении.	Штангенциркуль цифровой двухсторонний с глубиномером ШЦЦ-1-300-0,01 Бачок для кипячения образцов цемента БК-2 Кольца

Прибор Вика состоит из цилиндрического металлического стержня, который свободно перемещается в обойме станины в вертикальном направлении и может фиксироваться на требуемой высоте с помощью стопорного устройства. На стержне имеется указатель для отсчета перемещения его относительно шкалы с ценой деления 1 мм. Пестик должен быть изготовлен из нержавеющей стали и иметь полированную поверхность. Размеры рабочей части пестика должны соответствовать указанным на рисунке 3. Иглы должны быть изготовлены из стальной нержавеющей проволоки с полированной поверхностью и не должны иметь искривлений. Короткая игла для определения конца схватывания должна быть снабжена кольцеобразной насадкой с наклонным каналом для выхода воздуха. Размеры рабочей части игл должны соответствовать указанным на рисунках 4 и 5. Общая масса перемещающейся части прибора Вика должна быть  $(300 \pm 1)$  г и сохраняется взаимной перестановкой пестика и игл либо с помощью дополнительного пригруза, закрепляемого в верхнем конце стержня прибора. Для определения сроков схватывания могут применяться автоматизированные приборы при условии получения тех же результатов, как при использовании прибора Вика. При этом определения выполняют в соответствии с инструкцией к прибору.

Перед началом испытаний в нижний конец стержня прибора Вика вставляют пестик, проверяют свободное перемещение стержня и нулевое показание прибора, соприкасая пестик с пластинкой, на которой установлено кольцо. При отклонении от нуля указатель шкалы прибора устанавливают в нулевое положение. Кольцо и пластинку перед началом испытания смазывают тонким слоем машинного масла.

Иглу опускают до соприкосновения с поверхностью цементного теста и в этом положении закрепляют стержень стопорным устройством. Через 1-2 с освобождают стержень, предоставляя игле свободно погружаться в цементное тесто. В начале испытания, пока цементное тесто находится в пластичном состоянии, во избежание сильного удара иглы о пластинку допускается ее слегка задерживать при погружении в тесто для исключения повреждения иглы. Как

только цементное тесто загустеет настолько, что опасность повреждения иглы будет исключена, игле дают свободно опускаться. Через 30 с после освобождения стержня фиксируют по шкале прибора глубину погружения иглы в цементное тесто. Затем иглу погружают в цементное тесто через каждые 10 мин, передвигая кольцо после каждого погружения таким образом, чтобы каждое последующее погружение иглы находилось на расстоянии не менее 10 мм от мест предыдущих погружений и от края кольца. После каждого погружения иглу протирают.

Прочность на сжатие цемента определяется на образцах-балочках размером 40x40x160 мм. Образцы изготавливают из стандартного цементного раствора, состоящего из цемента и стандартного полифракционного песка в соотношении 1:3 по массе при водоцементном отношении, равном 0,50. Для приготовления одного замеса цементного раствора, необходимого для изготовления трех образцов-балочек, взвешивают 450 г цемента, используют одну упаковку стандартного полифракционного песка массой 1350 г и отмеривают или взвешивают 225 г воды.

В таблице 5 описаны методы контроля испытаний крупного заполнителя.

Таблица 5 – Методы контроля и качества щебня, применяемое основное оборудование и средства измерений

Материалы, показатели	Метод контроля и краткое описание методики испытания	Применяемое оборудование, сведения о поверке, аттестации
Зерновой состав	ГОСТ 8269.0, п.4.3 Зерновой состав щебня определяли путем отсева пробы на стандартном наборе сит.	Комплект сит для щебня и гравия КП-109/1 Шкаф сушильный лабораторный WSU-100 Весы электронные ВСТ-60К/5 Весы электронные SW-10
Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм	ГОСТ 8269.0, п.4.7.1 Содержание в щебне зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой форм. Измерение проводили штангенциркулем	Комплект сит для щебня и гравия КП-109/1 Шкаф сушильный лабораторный WSU-100 Весы лабораторные ВК-3000.1

Окончание таблицы 5

Материалы, показатели	Метод контроля и краткое описание методики испытания	Применяемое оборудование, сведения о поверке, аттестации
Содержание пылевидных и глинистых частиц	ГОСТ 8269.0, п.4.5.3 (Метод мокрого просеивания) Содержание пылевидных и глинистых частиц в щебне определяли процеживанием через сито суспензии, полученной при промывке щебня, и вычислением разности в массе пробы до и после испытания.	Шкаф сушильный лабораторный WSU-100 Весы лабораторные ВК-3000.1 Сито лабораторное (0,05 мм) Сито лабораторное (1,25 мм)
Содержание глины в комках	ГОСТ 8269.0, п.4.6 Содержание глины в комках в щебне определяли путем отбора из проб каждой фракции частиц, отличающихся пластичностью.	Шкаф сушильный лабораторный WSU-100 Весы лабораторные ВК-3000.1 Комплект сит для щебня и гравия КП-109/1, Лупа
Дробимость (марка)	ГОСТ 8269.0, п.4.8 Дробимость щебня определяли по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре.	Весы лабораторные ВК-3000.1 Шкаф сушильный лабораторный WSU-100 Комплект сит для щебня и гравия КП-109/1 Машина для испытаний на сжатие МС-500 Цилиндры с плунжером для определения дробимости щебня
Морозостойкость	ГОСТ 8269.0, п 4.12 Морозостойкость щебня определяют по потере массы пробы при погружении в насыщенный раствор сульфата натрия и последующем высушивании.	Шкаф сушильный лабораторный WSU-100 Весы неавтоматического действия АЖ-6200СЕ Сита из стандартного набора Натрий сернокислый

Дробимость щебня (гравия) определяют по степени разрушения зерен при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

При испытании щебня (гравия), состоящего из смеси двух или более смежных фракций, исходный материал рассеивают на стандартные фракции и каждую фракцию испытывают отдельно. Щебень (гравий) фракции от 5 до 10, св. 10 до 20 или св. 20 до 40 мм просеивают через два сита с отверстиями, соответствующими наибольшей  $D$  и наименьшей  $d$  крупности испытываемой фракции. От остатков на сите с отверстиями размером, равным  $d$ , отбирают две аналитические пробы массой не менее 0,5 кг каждая при испытании в цилиндре диаметром 75 мм и не менее 4 кг - при испытании в цилиндре диаметром 150 мм. Щебень (гравий) крупнее 40 мм предварительно дробят и испытывают фракции св. 10 до 20 мм или св. 20 до 40 мм. При одинаковом петрографическом составе щебня (гравия) фракции св. 20 до 40 мм и св. 40 до 70 мм прочность последней допускается характеризовать результатами испытаний фракции св. 20 до 40 мм. Щебень (гравий) допускается испытывать как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии. Аналитические пробы для испытания в сухом состоянии высушивают до постоянной массы, а для испытания в насыщенном водой состоянии погружают в воду на 2 ч. После насыщения водой с поверхности зерен щебня (гравия) удаляют влагу мягкой влажной тканью.

При определении марки щебня (гравия) применяют цилиндр диаметром 150 мм. Для приемочного контроля качества щебня (гравия) фракции от 5 до 10 мм и св. 10 до 20 мм допускается применять цилиндр диаметром 75 мм.

Пробу щебня (гравия) насыпают в цилиндр с высоты 50 мм так, чтобы после разравнивания верхний уровень материала примерно на 15 мм не доходил до верхнего края цилиндра. Затем в цилиндр вставляют плунжер так, чтобы плита плунжера была на уровне верхнего края цилиндра. Если верх плиты на плунжере не совпадает с краем цилиндра, то удаляют или добавляют несколько зерен щебня (гравия). После этого цилиндр помещают на нижнюю плиту пресса.

Увеличивая силу нажатия пресса на 1 - 2 кН (100-200 кгс) в секунду, доводят ее при испытании щебня (гравия) в цилиндре диаметром 75 мм до 50 кН (5000 кгс), при испытании в цилиндре диаметром 150 мм - до 200 кН (20000 кгс).



После сжатия испытываемую пробу высыпают из цилиндра и взвешивают. Затем ее просеивают в зависимости от размера испытываемой фракции через сито с отверстиями размером 1,25 мм, 2,5 мм, 5,0 мм в зависимости от фракции щебня.

Остаток щебня (гравия) на сите после просеивания взвешивают.

При испытании щебня (гравия) в насыщенном водой состоянии навеску на сите тщательно промывают водой и удаляют поверхностную влагу с зерен щебня (гравия) мягкой влажной тканью.

Обработка результатов в соответствии с ГОСТ 8269.0-97 п. 4.8.4

Содержание глины в комках в щебне (гравии) определяют путем отбора из проб каждой фракции частиц, отличающихся пластичностью.

Аналитические пробы щебня (гравия) готовят путем отсева лабораторной пробы на ситах стандартного набора или берут из остатков на ситах, полученных рассевом пробы при определении зернового состава. Каждую аналитическую пробу щебня (гравия), высушенную до постоянной массы, насыпают тонким слоем на металлический лист и увлажняют с помощью пипетки. Из пробы выделяют комки глины, отличающиеся пластичностью от зерен щебня (гравия), применяя в необходимых случаях лупу. Выделенные комки глины высушивают до постоянной массы и взвешивают.

Обработка результатов в соответствии с ГОСТ 8269.0-97 п. 4.6.3

Зерновой состав щебня (гравия) определяют путем отсева пробы на стандартном наборе сит. Для испытания используют лабораторную пробу без ее сокращения, высушенную до постоянной массы.

Пробу просеивают ручным или механическим способом через сита с отверстиями указанных выше размеров, собранные последовательно в колонку, начиная снизу, с сита с отверстиями наименьшего размера, при этом толщина слоя щебня (гравия) на каждом из сит не должна превышать наибольшего размера зерен щебня (гравия).

Продолжительность просеивания должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 мин через него проходило не более 0,1% общей массы просеиваемой пробы. При

механическом просеивании его продолжительность для применяемого прибора устанавливаются в соответствии с указанным выше условием.

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания следующим способом: каждое сито интенсивно трясут над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом не наблюдается падение зерен щебня (гравия).

Определяют полные остатки на каждом сите в процентах массы пробы, равные сумме частных остатков на данном сите и всех ситах с большими размерами отверстий.

В таблице 6 описаны методы контроля испытаний мелкого заполнителя.

Таблица 6 – Методы контроля и качества щебня, применяемое основное оборудование и средства измерений

Материалы, показатели	Метод контроля и краткое описание методики испытания	Применяемое оборудование, сведения о поверке, аттестации
Зерновой состав (остаток на ситах) Модуль крупности	ГОСТ 8735, п.3 Зерновой состав определяли путем отсева песка на стандартном наборе сит.	Шкаф сушильный лабораторный WSU-100 Комплект сит для песка КСИ Весы неавтоматического действия AJ-6200CE
Содержание глины в комках	ГОСТ 8735, п.4 Содержание глины в комках определяли путем отбора частиц, отличающихся от зерен песка вязкостью.	Шкаф сушильный лабораторный WSU-100 Комплект сит для песка КСИ Весы неавтоматического действия AJ-6200CE Лупа минералогическая, игла стальная
Содержание пылевидных и глинистых частиц	ГОСТ 8735, п.5.3 Содержание пылевидных и глинистых частиц определяли путем мокрого просеивания песка и определения разницы в массе пробы до и после испытания.	Весы неавтоматического действия AJ-6200CE Шкаф сушильный лабораторный WSU-100 Сито лабораторное (0,315 мм) Сито лабораторное (0,05 мм)

Зерновой состав определяют путем рассева песка на стандартном наборе сит. Аналитическую пробу песка массой не менее 2000 г высушивают до постоянной массы. Высушенную до постоянной массы пробу песка просеивают через сита с круглыми отверстиями диаметрами 10 и 5 мм. Остатки на ситах взвешивают и вычисляют содержание в песке фракций гравия с размером зерен от 5 до 10 мм ( $\Gamma_{p5}$ ) и св. 10 мм ( $\Gamma_{p10}$ ) в процентах по массе по формулам:

$$\Gamma_{p10} = \frac{M_{10}}{M} * 100; \quad (1)$$

$$\Gamma_{p5} = \frac{M_5}{M} * 100, \quad (2)$$

где  $M_{10}$  – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 10 мм, г;

$M_5$  – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 10 мм, г

$M$  – масса пробы, г.

Из части пробы песка, прошедшего через сито с отверстиями диаметром 5 мм, отбирают навеску массой не менее 1000 г для определения зернового состава песка.

Допускается при геологической разведке навеску рассеивать после предварительной промывки с определением содержания пылевидных и глинистых частиц. Содержание пылевидных и глинистых частиц включают при расчете результатов рассева в массу частиц, проходящих через сито с сеткой N 016, и в общую массу навески. При массовых испытаниях допускается после промывки с определением содержания пылевидных и глинистых частиц и высушивания навески до постоянной массы просеивать навеску песка (без фракции гравия) массой 500 г.

Подготовленную навеску песка просеивают через набор сит с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и с сетками N 1,25; 063; 0315 и 016.

Просеивание производят механическим или ручным способами. Продолжительность просеивания должна быть такой, чтобы при контрольном интенсивном ручном встряхивании каждого сита в течение 1 мин через него проходило не более 0,1% общей массы просеиваемой навески. При механическом

просеивании его продолжительность для применяемого прибора устанавливают опытным путем[9].

При ручном просеивании допускается определять окончание просеивания, интенсивно встряхивая каждое сито над листом бумаги. Просеивание считают законченным, если при этом практически не наблюдается падения зерен песка.

При определении зернового состава мокрым способом навеску материала помещают в сосуд и заливают водой. Через 24 ч содержимое сосуда тщательно перемешивают до полного размокания глинистой пленки на зерна или комков глины, сливают (порционно) на верхнее сито стандартного набора и просеивают, промывая материал на ситах до тех пор, пока промывочная вода не станет прозрачной. Частные остатки на каждом сите высушивают до постоянной массы и охлаждают до комнатной температуры, затем определяют их массу взвешиванием.

#### Обработка результатов

По результатам просеивания вычисляют:

- частный остаток на каждом сите  $a_i$  в процентах по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} * 100, \quad (3)$$

где  $m_i$  – масса остатка на данном сите, г;

$m$  – масса просеиваемой навески, г;

- полный остаток на каждом сите  $A_i$  в процентах по формуле

$$A_i = a_{2,5} + a_{1,25} + \dots + a_i, \quad (4)$$

где  $a_{2,5}$ ,  $a_{1,25}$ ,  $a_i$  – частные остатки на соответствующих ситах;

- модуль крупности песка  $M_k$  без зерен размером крупнее 5 мм по формуле

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}}{100} \quad (5)$$

где  $A_{2,5}$ ,  $A_{1,25}$ ,  $A_{0,63}$ ,  $A_{0,315}$ ,  $A_{0,16}$  – полные остатки на сите с круглыми отверстиями диаметром 2,5 мм и на ситах с сетками N 1,25; 063; 0315; 016, %.

В таблице 7 описаны методы контроля испытаний бетонной смеси.

Таблица 7 – Методы контроля и качества бетонной смеси, применяемое основное оборудование и средства измерений

Материалы, показатели	Метод контроля и краткое описание методики испытания	Применяемое оборудование, сведения о поверке, аттестации
Подвижность	ГОСТ 10181, п.4 Подвижность бетонной смеси определяли по осадке конуса (ОК), отформованного из бетонной смеси.	Конус для определения подвижности бетонной смеси, Секундомер электронный
Средняя плотность	ГОСТ 10181, п.5 Среднюю плотность бетонной смеси определяли отношением массы уплотненной бетонной смеси к ее объему.	Виброплощадка лабораторная СМЖ-739М Мерный цилиндрический сосуд (1 л) Весы электронные РВ-10Н
Раствороотделение	ГОСТ 10181, п.7.3 Раствороотделение бетонной смеси с крупным заполнителем определяли путем сопоставления содержания растворной составляющей в нижней и верхней частях бетонной смеси, уплотненной в мерном сосуде или форме.	Весы неавтоматического действия Мерный цилиндрический сосуд 5 л. Сито 5,0 мм Шкаф сушильный лабораторный WSU-100
Водоотделение	ГОСТ 10181, п.7.4 Водоотделение бетонной смеси определяли после ее отстаивания в мерном сосуде в течение определенного промежутка времени.	Весы неавтоматического действия АЖ-6200СЕ Мерный цилиндрический сосуд 5 л Сито 5,0 мм Шкаф сушильный лабораторный WSU-100 Медицинская пипетка
Сохраняемость подвижности	ГОСТ 10181, п.9 Определение сохраняемости подвижности бетонной смеси заключается в получении и оценке данных об изменении подвижности в течение 2 часов	Конус для определения подвижности бетонной смеси Секундомер электронный Интеграл С-01

Окончание таблицы 7

Материалы, показатели	Метод контроля и краткое описание методики испытания	Применяемое оборудование, сведения о поверке, аттестации
Объём вовлеченного воздуха	ГОСТ 101801, п.6 Определение объёма вовлеченного воздуха определяется с помощью поромера	Поромер TESTING, Виброплощадка лабораторная СМЖ-739М, Секундомер электронный Интеграл С-01

Для определения подвижности бетонной смеси конус устанавливают на гладкий лист и заполняют бетонной смесью марок П1, П2 или П3 через воронку в три слоя одинаковой высоты.

Бетонной смесью марок П4 и П5 конус заполняют в один прием. Конус во время заполнения и штыкования должен быть плотно прижат к листу.

После уплотнения бетонной смеси снимают загрузочную воронку, избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями конуса и заглаживают поверхность бетонной смеси. Время от начала заполнения конуса до его снятия не должно превышать 3 мин. конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси в строго вертикальном направлении и устанавливают рядом с ней. Время, затраченное на подъем конуса, должно составлять 5-7 с.

Если после снятия конуса бетонная смесь разваливается, измерение не выполняют и испытание повторяют на новой пробе бетонной смеси. Осадку конуса бетонной смеси определяют, укладывая гладкий стержень на верх конуса и измеряя расстояние от нижней поверхности стержня до поверхности бетонной смеси с погрешностью не более 0,5 см.

Для определения объёма вовлечённого воздуха бетонную смесь укладывают в чашу поромера и уплотняют по ГОСТ 10180. После уплотнения излишек бетонной смеси срезают металлической линейкой. Фланец тщательно очищают от бетонной смеси, устанавливают на чаше крышку поромера и прижимают ее накладными болтами. Сливной вентиль при этом должен быть закрыт.

Через воронку заливают в поромер воду до отметки  $(50 \pm 30)\%$  шкалы. Затем отклоняют поромер примерно на  $30^\circ$  от вертикали и, используя дно чаши как

точку опоры, описывают 10 полных кругов верхним концом поромера, одновременно постукивая рукой по конической крышке для удаления пузырьков воздуха. Поромер возвращают в вертикальное положение и доливают через воронку воду до уровня выше нулевой риски шкалы. Открыв сливной вентиль, приводят уровень воды к нулевому делению шкалы поромера.

Водоотделение бетонной смеси определяют после ее отстаивания в мерном сосуде или форме в течение определенного промежутка времени.

Раствороотделение бетонной смеси с крупным заполнителем, характеризующее ее расслаиваемость при динамическом воздействии, определяют путем сопоставления содержания растворной составляющей в нижней и верхней частях бетонной смеси, уплотненной в мерном сосуде или форме.

В таблице 8 описаны методы контроля испытаний бетона.

Таблица 8 – Методы контроля и качества бетона, применяемое основное оборудование и средства измерений

Окончание таблицы 8

Материалы, показатели	Метод контроля и краткое описание методики испытания	Применяемое оборудование, сведения о поверке, аттестации
Прочность на сжатие	ГОСТ 10180, п.7.2 Прочность бетона на сжатие определяли путем измерения минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью нарастания нагрузки, и вычислении напряжений при этих усилиях.	Пресс гидравлический малогабаритный ПГМ-500МГ4 Штангенциркуль цифровой двусторонний с глубиномером ШЦЦ-1-300-0,01 Весы лабораторные ВК-3000.1 Камера нормального хранения КНХ-2

Окончание таблицы 8

Материалы, показатели	Метод контроля и краткое описание методики испытания	Применяемое оборудование, сведения о поверке, аттестации
Средняя плотность	ГОСТ 12730.1 Среднюю плотность бетона определяли как отношение массы образцов к их объему Объем образцов вычисляли по их геометрическим размерам. Массу образцов определяли взвешиванием	Штангенциркуль цифровой двусторонний с глубиномером ШЦЦ-1-300-0,01 Весы лабораторные ВК-3000.1 Камера нормального хранения КНХ-2
Морозостойкость	ГОСТ 10060 п.6 Испытание по второму ускоренному методу проводят замораживанием на воздухе образцов, насыщенных хлорида натрия, и последующим их оттаиванием в растворе хлорида натрия.	Морозильная камера (-50 С0), Весы лабораторные ВК-3000.1 Пресс гидравлический малогабаритный ПГМ-500МГ4 Хлорид натрия

Определение морозостойкости бетона начинают после достижения бетоном проектного возраста. Испытания образцов, отобранных из бетонных и железобетонных конструкций, проводят в проектном возрасте. При большем возрасте конструкций указывают срок эксплуатации бетона.

ГОСТ 10060-2012 устанавливает следующие определения морозостойкости:

– Базовые методы при многократном замораживании и оттаивании:

1) Первый

2) Второй

– Ускоренные методы при многократном замораживании и оттаивании:

1) Второй

2) Третий

Методы отличаются средой насыщения, средой и температурой замораживания, оттаивания.

Морозостойкость бетона определялась по 3-у ускоренному методу, в связи с установленными сроками для подбора состава бетона. Краткое описание метода согласно ГОСТ 10060-2012 приведено ниже.



Основные образцы помещают в морозильную камеру в закрытых сверху емкостях, наполненных 5%-ным водным раствором хлорида натрия, так, чтобы расстояние между стенками емкостей и стенками емкости и камеры было не менее 50 мм. Температуру в закрытой камере понижают до минус  $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$  и поддерживают в течение не менее 2,5 ч. Затем температуру в камере повышают до температуры минус  $10^\circ\text{C}$  в течение  $(1,5 \pm 0,5)$  ч, после чего образцы размерами 100 мм оттаивают в 5%-ном водном растворе хлорида натрия температурой  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение не менее 2,5 ч. После заданного числа циклов основные образцы осматривают. Материал, отделяющийся от образца, снимают жесткой капроновой щеткой. Образцы обтирают влажной тканью, взвешивают и испытывают на сжатие.

В связи с отсутствием на объекте прямого определения характеристик однородности бетона по прочности, согласно схеме Г, применяют коэффициент вариации 13% по ГОСТ 18105-2015. Таким образом, назначается поправочный коэффициент 1,28, и устанавливаются требования по прочности бетона на сжатие класса В30. Испытания на морозостойкость проведены со всеми требованиями ГОСТ 10060-2012 по 3-у ускоренному методу.

Испытание на сжатие осуществлялось по образцам-кубам размером 10х10х10. Результаты испытаний приведены с учётом масштабного коэффициента 0,95 согласно ГОСТ 10180-2012.

## 5 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

### 5.1 Результаты испытаний применяемых материалов

#### 5.1.1 Результаты испытаний пробы песка природного, производство «Порт Пермь» карьер

Согласно требованиям ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия» применяемый в работе природный песок должен удовлетворять ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия». Проведены испытания песка по основным показателям, удовлетворяющим требованиям государственного стандарта, результаты представлены в таблице 9 и таблице 10.

Таблица 9 – Результаты определения зернового состава пробы песка

Объект испытаний	Зерновой состав, % по массе					Содержание зерен крупностью менее 0,16 мм, % по массе	
	Наименование остатков	Остатки на сите, (размер сита в мм)					
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	
Проба песка природного	Частные	6,97	1,98	5,43	41,68	41,05	2,89
	Полные	6,97	8,95	14,38	56,06	97,11	100,00

Таблица 10 – Результаты определения характеристик пробы песка

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативное значение	Фактические значения	Соответствие характеристикам требованиям нормативной документации
Модуль крупности	-	Для группы песка – мелкий: Св. 1,5 до 2,0	1,82	Соответствует группе песка – мелкий
Полный остаток на сите № 063, %	%	Для группы песка – мелкий: Св. 10 до 30	14,38	Соответствует
Содержание зерен крупностью св. 10		Для I класса группы песка – мелкий: не более 0,5	0,00	Соответствует

## Окончание таблицы 10

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативное значение	Фактические значения	Соответствие характеристикам требованиям нормативной документации
Содержание зерен крупностью св. 5 мм		Для I класса группы песка – мелкий: не более 5	1,79	Соответствует
Содержание зерен крупностью менее 0,16 мм		Для I класса группы песка – мелкий: не более 10	2,89	Соответствует
Содержание глины в комках	%	Для I класса группы песка – мелкий: не более 0,35	0,09	Соответствует
Содержание пылевидных и глинистых частиц		Для I класса группы песка – мелкий: не более 3	0,86	Соответствует

По испытанным показателям проба песка производства компании ООО «ПортПермь» удовлетворяет требованиям ГОСТ 8736-2014, относится ко I классу, группа песка - мелкий. В соответствии с ГОСТ 26633-2015 песок может быть применен в качестве мелкого заполнителя при изготовлении бетонных смесей.

5.1.2 Результаты испытаний пробы щебня смеси фракций св. 5 до 20 мм, производство Барзасский карьер.

Согласно требованиям ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия» применяемая в работе смесь фракций щебня должна удовлетворять ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия». Проведены испытания щебня по основным показателям, удовлетворяющим требованиям государственного стандарта, результаты представлены в таблице 11.

Таблица 11– Результаты определения характеристик пробы щебня

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике Нормативное значение	Фактические значения	Соответствие характеристикам требованиям нормативной документации
Полный остаток на сите 25,0 мм	% по массе	До 0,5	0,28	Соответствует
Полный остаток на сите 20,0 мм		До 10	5,85	
Полный остаток на сите 12,5 мм		От 30 до 60 Допускается до 80	56,60	
Полный остаток на сите 5,0 мм		От 90 до 100	95,18	
Полный остаток на сите 2,5 мм		От 95 до 100	98,00	
Марка по дробимости (потеря массы при испытании)	(% )	Для изверженных интрузивных пород марки 1400 До 12	6,3	Соответствует марке 1400
Содержание пылевидных и глинистых частиц		Для изверженных интрузивных пород марки 1400 Не более 1	0,39	Соответствует
Содержание зёрен пластичной (лещадной) и игловатой формы		Для 3 группы щебня Св. 15 до 25	17,3	Соответствует 3 группе щебня
Содержание глины в комках		До 0,25	0	Соответствует
Марка по морозостойкости	% по массе	Не более 2 для марки по морозостойкости F300	2	Соответствует марке F300

По испытанным показателям проба щебня удовлетворяет требованиям ГОСТ 8267-93 и относится к изверженной (интрузивной) породе, соответствует марке по морозостойкости F300 и марке по дробимости 1400. В соответствии с ГОСТ 26633-2015 щебень см. фр. от 5 до 20 мм может быть использован в качестве крупного заполнителя при изготовлении бетонных смесей.

5.1.3 Результаты испытаний цемента ЦЕМ I 32,5 Н «Суходоложскцемент» приведены в таблице 12.

Согласно требованиям ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия» применяемые в работе цементы марок ЦЕМ I 32,5 Н и ЦЕМ II/A-III 32,5 Б должны удовлетворять требованиям ГОСТ 31108-2016 «Цементы общестроительные. Технические условия». Проведены испытания цементов по основным показателям, удовлетворяющим требованиям государственного стандарта, результаты представлены в таблице 12 и таблице 13.

Таблица 12– Результаты определения характеристик ЦЕМ I 32,5 Н

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике Нормативное значение	Фактические значения	Соответствие характеристикам требованиям нормативной документации
Начало схватывания	мин	Не ранее 75	82	Соответствует
Прочность на сжатие в возрасте 7 суток	МПа	Не менее 16	19	Соответствует
Прочность на сжатие в возрасте 28 суток	МПа	Не менее 32,5 и не более 52,5	38,2	Соответствует
Равномерность изменения объёма	мм	Не более 10	4	Соответствует

Результаты испытаний цемента ЦЕМ II/A-III 32,5 Б «Суходоложскцемент» приведены в таблице 13.

Таблица 13– Результаты определения характеристик ЦЕМ II/A-III 32,5 Б

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике Нормативное значение	Фактические значения	Соответствие характеристикам требованиям нормативной документации
Начало схватывания	мин	Не ранее 75	87	Соответствует
Прочность на сжатие в возрасте 2 суток	МПа	Не менее 10	14	Соответствует

Окончание таблицы 13

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике Нормативное значение	Фактические значения	Соответствие характеристике требованиям нормативной документации
Прочность на сжатие в возрасте 28 суток	МПа	Не менее 32,5 и не более 52,5	34,8	Соответствует
Равномерность изменения объёма	мм	Не более 10	4	Соответствует

5.2 Проверка базового состава бетонной смеси и бетона

Согласно требованиям ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия» бетонная смесь должна удовлетворять требованиям ГОСТ 7473-2010 «Смеси бетонные. Технические условия». Проведены испытания бетонной смеси по основным показателям, удовлетворяющим требованиям государственного стандарта, результаты представлены в таблице 15.

В таблице 14 представлен базовый состав с расходом на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Таблица 14 – Состав №1(базовый)

ЦЕМ I 32,5 Н, кг	Щебень, кг	Песок, кг	Вода, кг	Реламикс Т-2, кг
480	930	855	182	7,0

Таблица 15– Результаты испытаний бетонной смеси состава №1

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике согласно условиям проекта и ГОСТ 7473-2010	Фактические значения	Соответствие характеристике требованиям нормативной документации
Подвижность	см	Для марки по удобоукладываемости П4 Св. 16 до 20	17,7	Соответствует марке П4
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	-	2446	-

## Окончание таблицы 15

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике согласно условиям проекта и ГОСТ 7473-2010	Фактически значения	Соответствие характеристике требованиям нормативной документации
Раствороотделение	%	Для марки по удобоукладываемости П4 Не более 4	2,2	Соответствует
Водоотделение	%	Для марки по удобоукладываемости П4 Не более 0,8	0,31	Соответствует
Сохраняемость подвижности	мин.	Не менее 120	30	Не соответствует
Объём вовлечённого воздуха	%	Не менее 4%	1,8	Не соответствует

Таблица 16 – Результаты испытаний бетона состава №1

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике согласно условиям проекта и ГОСТ 26633-2015	Фактически значения	Соответствие характеристике требованиям нормативной документации
Прочность на сжатие	МПа	Для класса В30 Св. 38.4 до 44.8	40,9	Соответствует классу В30
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	Для тяжелых бетонов Св.2000 до 2500	2440	Соответствует
Морозостойкость	цикл	Для марки по морозостойкости F <sub>1300</sub> по 3-у ускоренному методу Не менее 8	3	Не соответствует

В связи с отсутствием на объекте прямого определения характеристик однородности бетона по прочности, согласно схеме Г, применяют коэффициент вариации 13% по ГОСТ 18105-2015. Таким образом, назначается поправочный коэффициент 1,28, и устанавливаются требования по прочности бетона на сжатие класса В30. Испытания на морозостойкость проведены со всеми требованиями ГОСТ 10060-2012 по 3-у ускоренному методу.

По результатам испытаний бетонной смеси и бетона состава №1 можно сделать следующие выводы:

- Сохраняемость бетонной смеси недостаточна для проведения бетонных работ;
- Марка по морозостойкости бетона представленного состава F<sub>100</sub> не соответствует требованиям проекта.

Базовый состав бетонной смеси устраивает ОАО «Сургунефтегаз» с точки зрения подвижности. Стоит задача произвести минимально упрощённую корректировку состава, без изменения удобоукладываемости и без существенного снижения расхода цемента.

### 5.3 Выбор цемента

Приведённые в таблице 15 и таблице 16 результаты базового состава, не удовлетворяют требованиям проектной документации по нескольким показателям. В связи с этим необходимо внести коррективы и подобрать состав бетона подходящий по всем требованиям проекта.

На основании литературного обзора, повышения морозостойкости бетона можно добиться введением минеральных пуццолановых добавок, таких как доменный гранулированный шлак, микрокремнезём, метакраин и др. Однако, текущие условия производства не позволяют обеспечить их хранение и дозирование. В таком случае целесообразнее применять цемент, уже содержащий такие добавки в своем составе. В качестве такого цемента был предложен ЦЕМ II/A-III 32,5 Б по ГОСТ 31108-2016, содержащий доменный гранулированный шлак в количестве 6-20%.

Замена бездобавочного цемента возможна лишь на продукцию того же завода-изготовителя, в связи с налаженной логистической системой и экономической выгодой, в условиях Крайнего Севера это особенно важно.

В Таблице 17 представлен состав №2 с заменой ЦЕМ I 32,5 Н (в базовом составе) на ЦЕМ II/A-III 32,5 Б



Таблица 17 – Состав №2

ЦЕМ П/А-Ш 32,5Б, кг	Щебень, кг	Песок, кг	Вода, кг	Реламикс Т-2, кг
480	930	855	182	7,0

Таблица 18 – Результаты испытаний бетонной смеси состава №2

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике согласно условиям проекта и ГОСТ 7473-2010	Фактически значения	Соответствие характеристике требованиям нормативной документации
Подвижность	см	Для марки по удобоукладываемости П4 Св. 16 до 20	18,2	Соответствует марке П4
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	-	2432	-
Раствороотделение	%	Для марки по удобоукладываемости П4 Не более 4	2,5	Соответствует
Водоотделение	%	Для марки по удобоукладываемости П4 Не более 8	3,4	Соответствует
Сохраняемость под вижности	мин.	Не менее 120	60	Не соответствует
Объём вовлечённого воздуха	%	Не менее 4%	2,1	Не соответствует

Таблица 19 – Результаты испытаний бетона состава №2

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике согласно условиям проекта и ГОСТ 26633-2015	Фактически значения	Соответствие характеристике требованиям нормативной документации
Прочность на сжатие	МПа	Св. 38.4 до 44.8	39,8	Соответствует классу В30
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	Для тяжелых бетонов Св.2000 до 2500	2412	Соответствует
Морозостойкость	цикл	Для марки по морозостойкости F <sub>1300</sub> по 3-у ускоренному методу Не менее 8	4	Не соответствует

По результатам испытаний состава №2 можно сделать следующие выводы:

- Сохраняемость бетонной смеси недостаточна для проведения бетонных работ
- Марка по морозостойкости бетона относительно состава 1 выросла (с F<sub>1</sub>100 до F<sub>1</sub>150), однако по-прежнему не соответствует требованиям проектной документации.

Таким образом, замена бездобавочного цемента на цемент с содержанием доменного гранулированного шлака в составе бетона, позволила повысить марку по морозостойкости до F<sub>1</sub>150. Однако, данная мера недостаточна, для удовлетворения требованиям проекта по морозостойкости. Назначим состав №2-контрольным и продолжим подбор состава бетона, на ЦЕМ II/A-III 32,5 Б. Так как замена инертных материалов невозможна в условиях данной строительной обстановки, на основании литературного обзора, единственным способом достижения повышения морозостойкости, является замена химических добавок.

#### 5.4 Выбор химических добавок

Согласно литературному обзору, добавки-пластификаторы в сочетании с АМД, повышают морозостойкость особенно эффективно. Применяемый цемент ЦЕМ II/A-III 32,5 Б обладает АМД в виде гранулированного доменного шлака. Таким образом, подбор состава будем осуществлять на добавочном цементе ЦЕМ II/A-III 32,5 Б, варьирую химические добавки.

Согласно требованиям ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия» применяемые в работе химические добавки должны удовлетворять требованиям ГОСТ 2411-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия».

Добавка - пластификатор «Реламикс тип 2» является комплексной добавкой и имеет в своём составе ускоритель твердения, что негативно влияет на сохраняемость смеси.

Для достижения цели выпускной квалификационной работы оценим возможность замены химической добавки «Реламикс тип 2», определим наиболее эффективную.

Эффективность действия водоредуцирующих добавок оценивают по уменьшению водопотребности смеси основных составов по сравнению с контрольным при условии изготовления смесей с одинаковой осадкой конуса 2-4 см. по ГОСТ 30459-2008 п.8.2. В качестве контрольного примем состав №2 без водоредуцирующей добавки. Оптимальную дозировку добавки, обеспечивающую технологический и/или технический эффект по ГОСТ 24211, определяют, изготавливая основные составы с тремя различными дозировками, соответствующими граничным значениям и середине интервала, рекомендуемого нормативным или техническим документом на добавку конкретного вида.

Сравним эффективность добавок «Реламикс Т-2», «ReoTeck DR 5300», «Полипласт Люкс».

Таблица 20 – Проверка эффективности

Добавка	Расход воды в контрольном составе на 1м <sup>3</sup> , кг	Расход воды в основном составе на 1м <sup>3</sup> , кг	Уменьшение количества воды затворения, %
Реламикс Т-2	250	175	22
ReoTeckDR5300	250	160	31
Полипласт-Люкс	250	165	25

По результатам проверки эффективности пластификаторов видно, что добавка ReoTeck DR5300 является более эффективной в сравнении с остальными представленными добавками. Использование данной добавки более эффективно в рамках повышения морозостойкости.

В таблице 21 представлен Подбор оптимальной дозировки ReoTeck DR5300.

Таблица 21 - Добавка ReoTeck 5300 в % от массы цемента

Контролируемые показатели	Ед.изм	Добавка ReoTeckDR5300 в % от массы цемента						
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
В/Ц		0,45	0,43	0,40	0,38	0,35	0,34	0,34
ОК	См	17,6	17,9	18,2	18,4	18,4	18,1	18,3
Прочность на сжатие в возрасте 28 суток	МПа	26,7	28,3	33,4	37,1	43,8	45,2	46,1

Зависимость В/Ц от дозировки добавки представлена на рисунке 1.

Прочность определена на образцах – кубах размером 10х10х10 см.

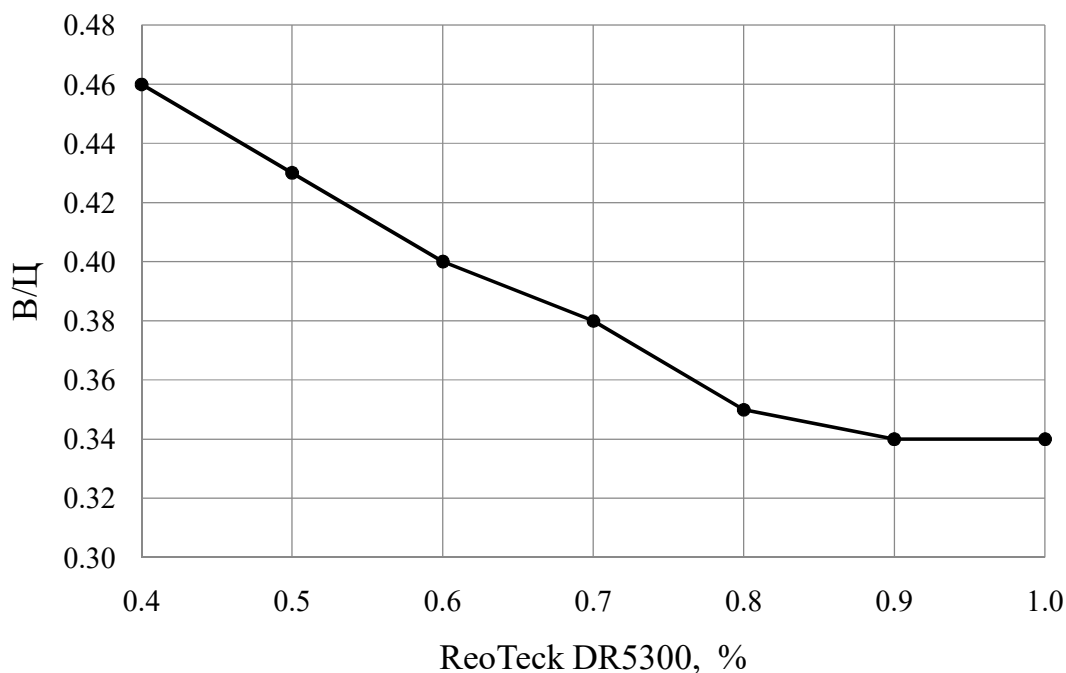


Рисунок 1 - График зависимость В/Ц от дозировки добавки «ReoTeck DR5300»

На основании полученных данных, принимаем дозировку водоредуцирующей добавки в количестве 0,8% от массы вяжущего соответствующей водоцементному отношению 0,35, при сохранении марки по удобоукладываемости П4.

При увеличении дозировки добавки «ReoTeck DR5300» не наблюдается значительного снижения водоцементного отношения, вследствие чего не достигается повышения водоредуцирующего эффекта.

При снижении дозировки добавки «ReoTeck DR5300» повышается В/Ц, вследствие чего увеличивается капиллярная пористость, что негативно влияет на морозостойкость бетона.

Зависимость прочности бетона на сжатие от дозировки добавки, с учётом варьирования В/Ц для достижения постоянной подвижности П4 представлена на рисунке 2.

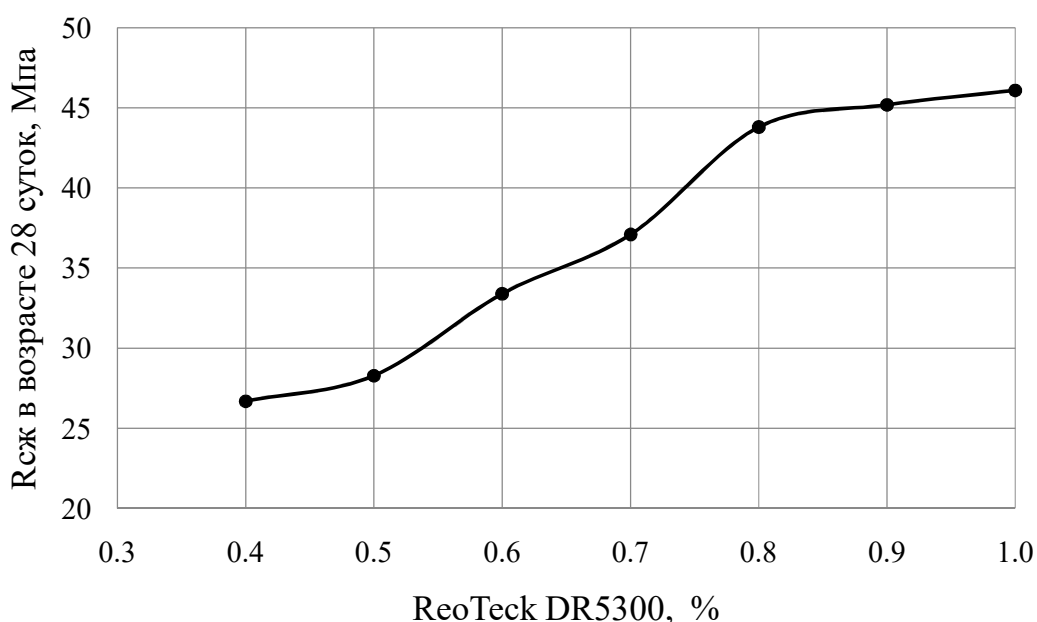


Рисунок 2 – График зависимости прочности бетона на сжатие от дозировки добавки в % от массы цемента

На рисунке 2 видно, что до введения в состав бетонной смеси дозировки 0,8 % от массы цемента, прочность бетона растёт почти прямолинейно, далее на кривой наблюдается перелом, прочность растёт медленно. В связи с этим, дозировка свыше 0,8% наименее эффективна, с точки зрения прироста прочности.

При дозировке добавки 0,8 %, прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток равна 43,8 МПа, что удовлетворяет требованиям проекта и соответствует классу бетона В30, при назначенном коэффициенте вариации 13%.

При дозировке добавки ниже 0,8%, прочность бетона не удовлетворяет требованиям проекта по прочности.

Проведём испытания на контрольном составе №2 с заменой комплексной добавки «Реламикс тип 2» на добавку «ReoTeck DR5300», с учётом подбора наиболее эффективной дозировки. Результаты испытаний представлены в таблице 23 и таблице 24.

Таблица 22 – Состав №3 тяжелого бетона

ЦЕМ П/А-Ш 32,5Б, кг	Щебень, кг	Песок, кг	Вода, кг	ReoTeckDR5300, кг
480	930	855	168	3,84

Таблица 23 – Результаты испытаний бетонной смеси состава №3

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике согласно условиям проекта и ГОСТ 7473-2010	Фактически значения	Соответствие характеристики требованиям нормативной документации
Подвижность	см	Для марки по удобоукладываемости П4 Св. 16 до 20	18,4	Соответствует марке П4
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	-	2445	-
Раствороотделение	%	Для марки по удобоукладываемости П4 Не более 4	1,8	Соответствует
Водоотделение	%	Для марки по удобоукладываемости П4 Не более 8	2,4	Соответствует
Сохраняемость под вижности	мин.	Не менее 120	120	Соответствует
Объём вовлечённого воздуха	%	Не менее 4%	2,3	Не соответствует

Таблица 24 – Результаты испытаний бетона состава №3

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике согласно условиям проекта и ГОСТ 26633-2015	Фактически значения	Соответствие характеристики требованиям нормативной документации
Прочность на сжатие	МПа	Св. 38.4 до 44.8	42,8	Соответствует классу В30
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	Для тяжелых бетонов Св.2000 до 2500	2421	Соответствует
Морозостойкость	Цикл	Для марки по морозостойкости F <sub>1300</sub> по 3-у ускоренному методу Не менее 8	5	Не соответствует

По результатам испытаний состава №3 можно сделать следующие выводы:

- Сохраняемость бетонной смеси удовлетворяет требованиям проекта
- Марка по морозостойкости бетона выросла относительно состава 1 (с F<sub>100</sub> до F<sub>200</sub>), относительно состава 2 (с F<sub>150</sub> до F<sub>200</sub>), однако по-прежнему не соответствует требованиям проекта.

Повышение марки по морозостойкости, вероятно, связано со снижением водоцементного отношения и как следствие снижением капиллярной пористости. Кроме того, добавка «ReoTesk DR5300», являясь поликарбоксилатным суперпластификатором, обладает поверхностно активными свойствами, что замедляет начало схватывания цементного теста. Данный эффект может влиять на повышение морозостойкости бетона вследствие создания более благоприятных условий формирования структуры цементного камня.

Дальнейшего повышения морозостойкости можно добиться за счет введения воздухововлекающих добавок. На основании литературного обзора, воздухововлекающие добавки предотвращают разрушения от действия льда в капиллярных порах, за счёт образования резервной пористости.

В настоящее время государственные стандарты, для достижения марок по морозостойкости выше F<sub>200</sub> и F<sub>100</sub>, обязывают введение в состав бетона

воздухововлекающей добавки, вне зависимости от того, достигнута ли высокая марка по морозостойкости другими способами.

Согласно ГОСТ 30459-2008 эффективность воздухововлекающих добавок определяется при марке по удобоукладываемости П2.

Проведём сравнительные испытания добавки «BASF Master Air 125» и «ПолипластАэро».

Так как с момента изготовления бетонной смеси до момента выгрузки проходит до 120 минут, объём вовлечённого воздуха измеряется после изготовления бетонной смеси и через 120 минут в момент выгрузки.

На составе №3 определим сохраняемость бетонной смеси с введением в её состав воздухововлекающие добавки.

Бетонная смеси с применением добавки «BASF Master Air 125» по истечении 120 минут после изготовления имеет такой же объём вовлечённого воздуха, что и в момент изготовления, в свою очередь, бетонная смеси с введением добавки «ПолипластАэро» не имеет сохраняемость по истечению 2 часов, объём вовлечённого воздуха снизился в 2 раза. Таким образом, продолжаем подбор состава тяжелого бетона с применением воздухововлекающей добавки «BASF Master Air 125».

На составе №3 определим оптимальную дозировку воздухововлекающей добавки «BASF Master Air 125» для достижения марки по морозостойкости F<sub>1</sub>300 и класса по прочности на сжатие В30. Производителем регламентируется дозировка от 0,05 до 1,0% от массы вяжущего вещества.

Согласно требованиям ГОСТ 26633-2015 п 4.4.3 для бетонов марки по морозостойкости F<sub>1</sub>200 (F<sub>2</sub>100) и выше содержание вовлечённого воздуха должно быть не менее 4%.

На составе №3 произведём подбор воздухововлекающей добавки с учётом рекомендуемого диапазона применения добавки производителем и требованиям ГОСТ 26633-2015. Подбор будем осуществлять с постепенным варьированием воздухововлекающей добавки шагом 0,03 % от массы цемента, контролируя объём вовлечённого воздуха с использованием поромера.



Таблица 24 – Подбор воздухововлекающей добавки «BASF Master Air 125» на составе №3

Контролируемые показатели	Ед. изм.	Дозировка «BASF Master Air 125» в % от массы цемента						
		0,00	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18
Объём вовлечённого воздуха	%	2,0	2,4	2,9	3,6	4,2	4,6	4,9

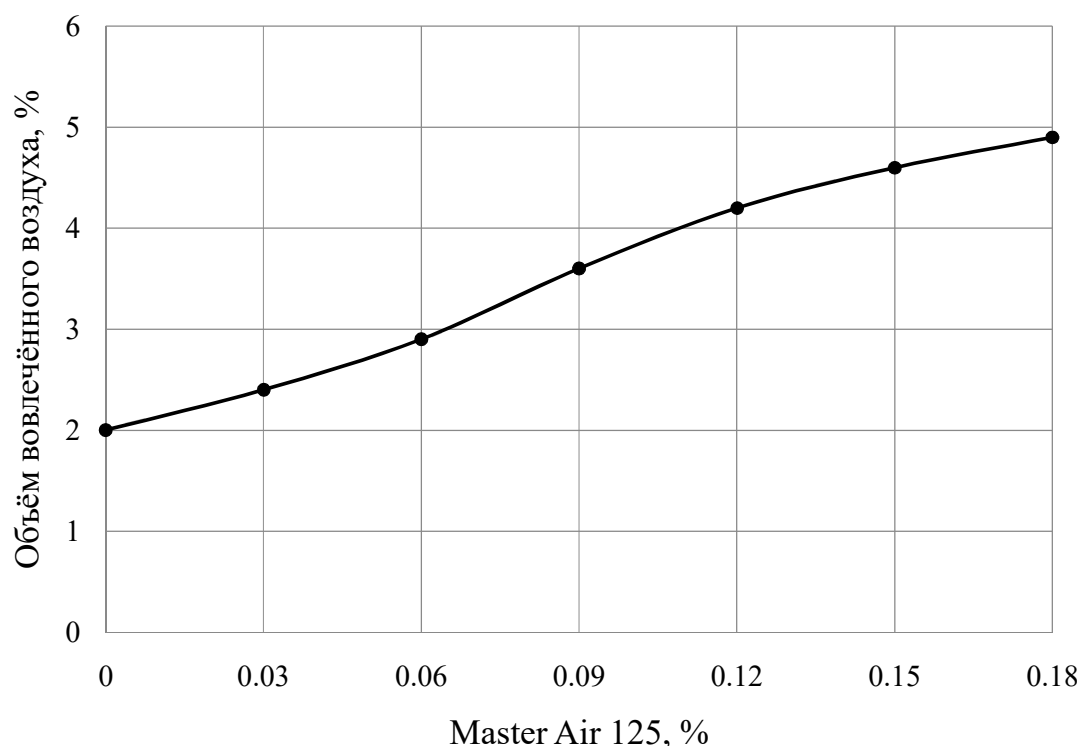


Рисунок 3 – График зависимости объёма вовлечённого воздуха от дозировки добавки в % от массы цемента с фиксированным В/Ц

На рисунке 3 видно, что зависимость объёма вовлечённого воздуха от расхода добавки почти линейна.

В результате подбора оптимальной дозировки воздухововлекающей добавки, была выбрана дозировка 0,12 % от массы цемента, с учётом требований ГОСТ 26633-2015, для обеспечения объёма вовлеченного воздуха не менее 4%.

В таблице 25 представлен итоговый состав со всеми требуемыми характеристиками

Таблица 25 – Состав №4 тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В30.

ЦЕМ П/А-Ш 32,5Б	Щебень, кг	Песок, кг	Вода, кг	ReoTeck 5300, кг	MasterAir 125, кг
480	930	855	168	3,84	0,58

Таблица 26 – Результаты испытаний бетонной смеси состава №4

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике согласно условиям проекта и ГОСТ 7473-2010	Фактически значения	Соответствие характеристике требованиям нормативной документации
Подвижность	см	Для марки по удобоукладываемости П4 Св. 16 до 20	18,8	Соответствует марке П4
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	-	2431	-
Раствороотделение	%	Для марки по удобоукладываемости П4 Не более 4	1,6	Соответствует
Водоотделение	%	Для марки по удобоукладываемости П4 Не более 8	2,1	Соответствует
Сохраняемость под вижности	мин.	Не менее 120	120	Соответствует
Объём вовлечённого воздуха	%	Не менее 4%	4,4	Соответствует

Контрольные испытания бетона состава №4 представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Результаты испытаний бетона состава №4

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике согласно условиям проекта и ГОСТ 26633-2015	Фактически значения	Соответствие характеристике требованиям нормативной документации
Прочность на сжатие	МПа	Св. 38.4 до 44.8	39,2	Соответствует классу В30
Средняя плотность	кг/м <sup>3</sup>	Для тяжелых бетонов Св.2000 до 2500	2415	Соответствует

08.04.01.2020.103.00.00.ПЗ

лист

60

Окончание таблицы 27

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике согласно условиям проекта и ГОСТ 26633-2015	Фактически значения	Соответствие характеристике требованиям нормативной документации
Морозостойкость	Цикл	Для марки по морозостойкости F <sub>1300</sub> по 3-у ускоренному методу Не менее 8	8	Соответствует

Согласно таблице 26 и таблице 27 видно, что в результате поэтапного подбора состава бетона путём комплексного введения воздухововлекающей и водоредуцирующей добавки, заменой ЦЕМ I на ЦЕМ II/A-III, достигнута цель выпускной квалификационной работы.

Марка по морозостойкости относительно базового состава повысилась с F<sub>100</sub> до F<sub>1300</sub> и удовлетворяет требованиям проекта.

Прочность бетона на сжатие соответствует классу В30, что также соответствует требованиям проектной документации.

Сохраняемость бетонной смеси повысилась относительно базового состава на 90 минут и составляет 120 минут, что достаточно для проведения бетонных работ.

Подведём итоги проделанной работы и составим по всем изученным составам сравнительные гистограммы, наглядно показывающие достигнутые результаты.

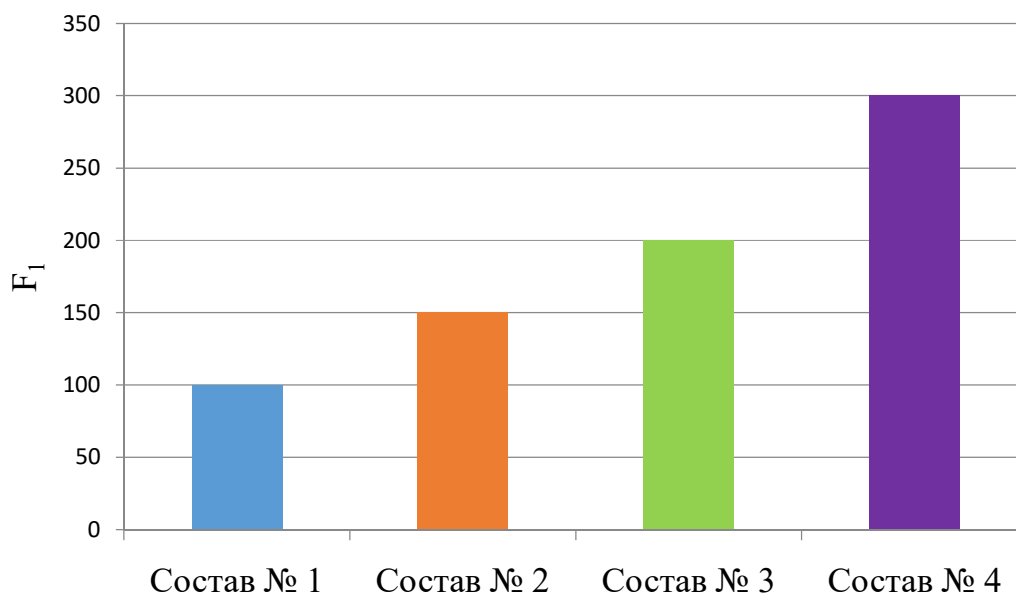


Рисунок 4 – Сравнительное соответствие составов и морозостойкости

На рисунке 4 видно, что с каждым подобранным составом наблюдается рост морозостойкости бетона. Состав №2 обладает большей морозостойкостью, чем состав №1 в первую очередь за счёт замены бездобавочного цемента ЦЕМ I на ЦЕМ II/A-III. Влияние активно минеральных добавок, а именно доменного гранулированного шлака, описано в литобзоре.

Состав №3 обладает большей морозостойкостью, чем состав №2 за счёт замены комплексной добавки «Реламикс тип 2» на высокоэффективный суперпластификатор «ReoTeck DR5300». Морозостойкость повысилась за счёт снижения водоцементного отношения и как следствие уменьшения капиллярной пористости.

Введение в состав №4в воздухововлекающей добавки, позволило повысить марку по морозостойкости, за счёт образования резервной пористости

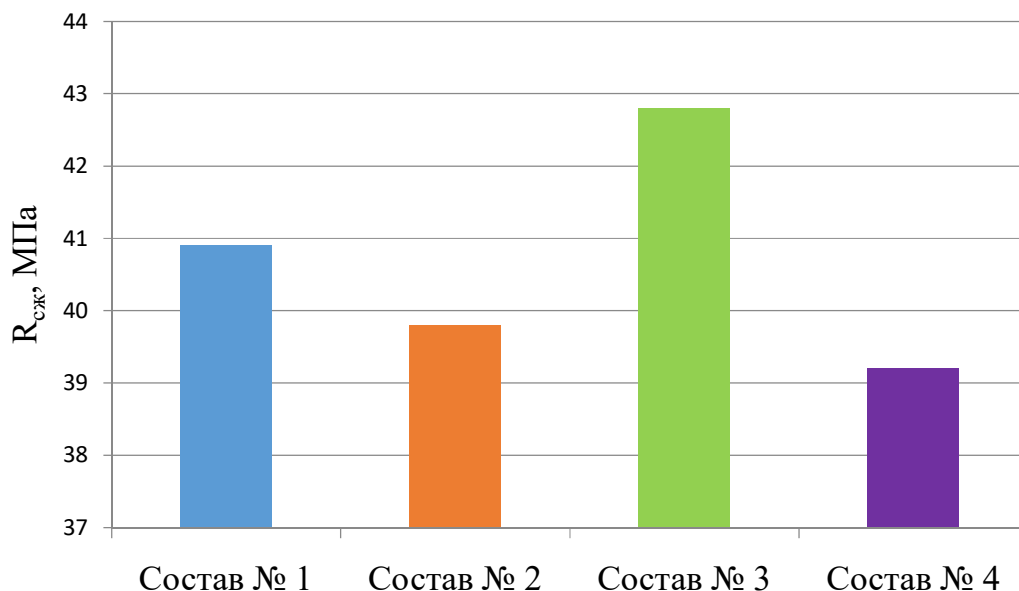


Рисунок 5- Сравнительное соответствие составов и прочности на сжатие в возрасте 28 суток

На рисунке 5 видно, что состав №4 значительно не снизил прочность. Введение в состав бетона воздухововлекающей добавки, снижающей прочность, компенсируется уменьшением В/Ц, за счёт введения водоредуцирующей добавки.

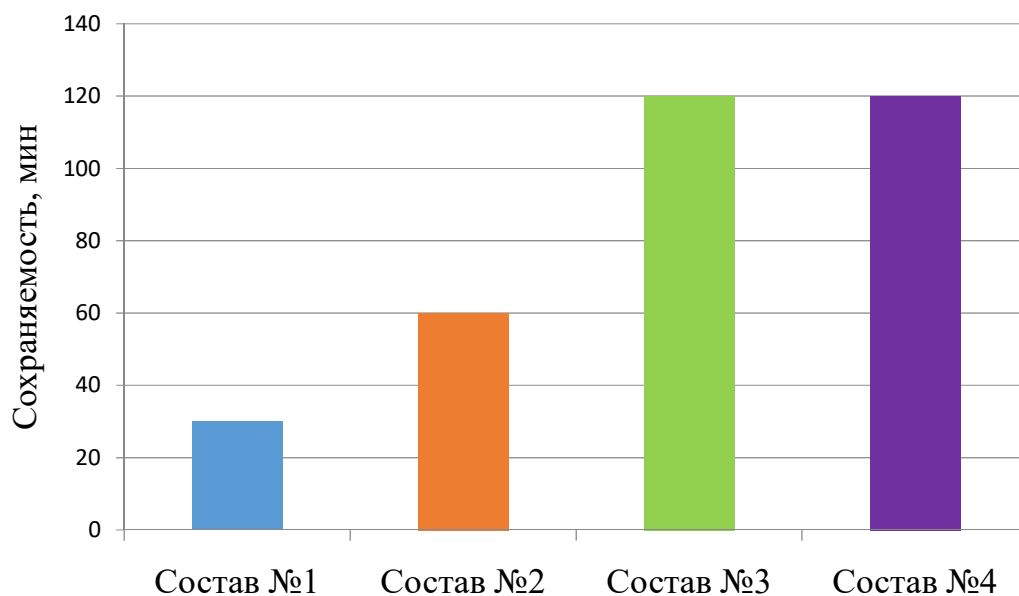


Рисунок 6- Сравнительное соответствие составов и сохраняемости бетонной смеси

Сохраняемость бетонной смеси достигнута условиям проекта, благодаря замене добавки «Реламикс тип 2», имеющей в своём составе ускоритель твердение.

Таким образом, подобранный состав №4 удовлетворяет требованиям ГОСТ 26633-2015 и требованиям ОАО «Сургутнефтегаз».

Необходимо также оценить экономическую эффективность, для этого в следующем разделе представлены сравнительные затраты на производство базового состава и состава №4.

## ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ

1. Проведенный контроль качества сырьевых материалов бетонной смеси и бетона показал, что цементы, песок, щебень и добавки удовлетворяют требованиям нормативной документации, в том числе ГОСТ 26633 – 2015, и могут быть использованы для производства тяжелого бетона, предназначенного для изготовления ростверков на объекте «Линия электропередач воздушная 35 кВ» ОАО «Сургутнефтегаз».

2. Результаты эксперимента по проверке свойств бетонной смеси и бетона базового состава, разработанного в ОАО «Сургутнефтегаз» (состав №1) на цементе ЦЕМ I 32,5 Н ГОСТ 31108 Сухоложского цементного завода и водоредуцирующей добавки «Реламикс Т2» показали, что бетонная смесь не имеет требуемой сохраняемости подвижности (2 часа), а морозостойкость бетона гораздо ниже требуемой в проекте ( $F_1 100$  вместо  $F_1 300$ ). В связи с этим базовый состав нуждается в корректировке. Обязательным условием при этом является применение тех же инертных материалов и цемента данного производителя в связи со сложностью процесса доставки материалов на объект в условиях Крайнего Севера.

3. Результаты исследования показали возможность замены ЦЕМ I 32,5 Н ГОСТ 31108 на цемент ЦЕМ II/A-III 32,5 Б ГОСТ 31108 того же производителя (состав №2), что обеспечило увеличение сохраняемости подвижности бетонной смеси и повышение морозостойкости бетона с  $F_1 100$  до  $F_1 150$  за счет наличия в составе цемента активной минеральной добавки – доменного гранулированного шлака.

4. Для обеспечения сохраняемости подвижности бетонной смеси и снижения водоцементного отношения было решено заменить водоредуцирующую добавку. Проведенные исследования показали, что наиболее эффективной водоредуцирующей добавкой, позволяющей добиться требуемой сохраняемости подвижности бетонной смеси, является поликарбоксилатный суперпластификатор «ReoTeckDR5300». При этом оптимальной дозировкой добавки, позволяющей добиться требуемой прочности, является 0,8 % от массы цемента (состав № 3).

5. Замена водоредуцирующей добавки также позволила повысить морозостойкость бетона с F<sub>1</sub> 150 до F<sub>1</sub> 200 за счет снижения капиллярной пористости. Для достижения требуемой морозостойкости и обеспечения соответствия бетона требованиям ГОСТ 26633-2015 использовали воздуховолекающую добавку «MasterAir 125» с дозировкой 0,12% от массы цемента, что позволило увеличить морозостойкость бетона с F<sub>1</sub> 200 до F<sub>1</sub> 300 (состав № 4).

6. Проведенные испытания бетонной смеси и бетона откорректированного состава (состав №4) показали, что все свойства бетонной смеси (подвижность, сохраняемость, объём вовлечённого воздуха, плотность), а также бетона нормального твердения (прочность на сжатие, плотность, морозостойкость) удовлетворяют требованиям проекта.



## 6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Калькуляция – способ группировки затрат и определения себестоимости продукции по статьям расходов – сырье, материалы.

Себестоимость – стоимостная оценка используемых в процессе производства продукции природных ресурсов, сырья, материалов, топлива, энергии, основных фондов, трудовых ресурсов, а также других затрат на ее производство и реализацию. Себестоимость является объектом планирования и бухгалтерского учета затрат.

Материальные затраты на сырьевые компоненты:

Таблица 27– Цены на сырьевые материалы

Перечень материалов	Стоимость
Цемент ЦЕМ I 32,5Н	5 300,00 руб/т
Цемент ЦЕМ II/A-III 42,5Н	5 000,00 руб/т
Песок	420,00 руб/т
Щебень	630,00 руб/т
«ReoTeck DR5300»	55 000,00 руб/т
«Реламикс тип 2»	60 000,00 руб/т
«MasterAir 125»	50 000,00 руб/т
Вода	15,00 руб/м <sup>3</sup>

Таблица 36– Расход и калькуляция материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси базового состава

Материал	Ед. изм.	Норма расхода на 1 м <sup>3</sup>	Стоимость, руб.
Цемент ЦЕМ I 32,5Н	т	0,480	2544,00
Песок	т	0,930	390,60
Щебень	т	0,855	538,65

08.04.01.2020.103.00.00.ПЗ

лист

67

Окончание таблицы 36

Материал	Ед. изм.	Норма расхода на 1 м <sup>3</sup>	Стоимость, руб.
Вода	т	0,182	2,73
«Реламикс тип 2»	т	0,007	420
ИТОГО:			3 895,98

Таблица 37 – Расход и калькуляция материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси итогового состава

Материал	Ед. изм.	Норма расхода на 1 м <sup>3</sup>	Стоимость, руб.
Цемент ЦЕМ II/A-III 42,5Н	т	0,480	2400,00
Песок	т	0,930	390,60
Щебень	т	0,855	538,65
Вода	т	0,182	2,73
«ReoTeck DR5300»	т	0,00384	211,20
«MasterAir 125»	т	0,00192	96,00
ИТОГО:			3 639,18

Из приведенных расчетов видно, что затраты на производство 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси итогового состава бетона снизились на 256,8 рублей по сравнению с базовым.

Таким образом, подбор состава эффективен с экономической точки зрения.

## 7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 7.1 Общие положения техники безопасности

При производстве бетонных работ в зимних условиях» районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера необходимо соблюдать требования ГОСТ 12.1.013 –78, главы СНиП 1П-4-80. «Техника безопасности в строительстве», «Правил технической эксплуатации электроустановок». «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок», а также положений данного раздела.

При выполнении работ в условиях температуры воздуха ниже 0° С необходимо предусматривать теплые помещения для обогрева рабочих.

Все рабочие должны быть обеспечены теплой одеждой, валенками и теплыми рукавицами[31].

При устройстве электрических сетей на строительной площадке необходимо предусматривать возможность отключения всех электроустановок в пределах отдельных объектов и участков работ.[33]

.Лица, занятые на строительно-монтажных работах, должны быть обучены безопасным способам прекращения действия электрического тока на человека и оказания первой доврачебной помощи при электротравме.

Строительно-монтажные работы в охранной зоне действующей воздушной линии электропередачи следует производить под непосредственным руководством инженерно-технического работника, ответственного за безопасность производства работ, при наличии письменного разрешения организации - владельца линии и наряда-допуска, определяющего безопасные условия работ и выдаваемого в соответствии с правилами главы СНиП по технике безопасности в строительстве.

### 7.2 Техника безопасности в условиях Крайнего Севера

1. Для всех работающих на Крайнем Севере должны быть созданы условия, обеспечивающие нормальную жизнедеятельность организма и нормальные условия труда и отдыха.

2. Здания производственных помещений должны соответствовать СНиП II-90-81";Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования"; с учетом дополнительных норм проектирования зданий в северной строительной-климатической зоне.Метеорологические условия в рабочей зоне производственных помещений должны соответствоватьСНиП II-33-75 ";Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования";.

3. В жилых помещениях зимой должна постоянно поддерживаться температура воздуха в пределах от 22 до 24 °С при температуре стенок и пола помещения не ниже 18 °С.

4. Лица, принимаемые для работы в районах Крайнего Севера или в районах к нимприравненных, подлежат предварительному медицинскому осмотру для установления ихпригодности к работе в указанных условиях.

5. Работающие на открытом воздухе должны быть обеспечены в зимнее время спецодеждой испецобувью с повышенным суммарным тепловым сопротивлением, а также защитными масками длялица. При работах, связанных с ограниченностью движения, следует применять спецодежду испецобувь со специальными видами обогрева. В летнее время года работающие на открытом воздухедолжны быть обеспечены за счет предприятия СИЗ от гнуса и энцефалитного клеща.

6. При эквивалентной температуре наружного воздуха ниже -25 °С работающим на открытомвоздухе ежечасно должен быть обеспечен обогрев в помещении, где необходимо поддерживатьтемпературу около +25 °С. Пункты обогрева должны быть оборудованы и эксплуатироваться посоответствующей инструкции.

7. Для облегчения ориентирования и перемещения людей в условиях сильной пурги или тумана по территории и в производственной зоне должны быть протянуты и закрепленынаправляющие канаты, если эти территории не имеют сплошного ограждения.

8. Запрещается в зимнее время, независимо от состояния погоды, уход людей за пределы жилой или производственной зоны без письменного разрешения руководителя, при этом выход может быть разрешен группе в составе не менее двух человек. При выходе группы диспетчером или другим должностным лицом должны быть зарегистрированы маршрут ее движения, ожидаемое время ее возвращения или прихода на контрольные пункты, где имеется связь с базой. В случае отсутствия группы в обусловленное время на контрольных пунктах должны принимать меры к розыску группы и оказанию ей помощи.

9. Работники объектов, расположенных в районе Крайнего Севера, должны быть обучены ориентированию на местности по компасу, солнцу, звездам и местным предметам, знать величин у магнитного склонения в районе работ, уметь его учитывать при движении по компасу, который следует носить с собой при удалении от места жилья или работы.

10. Для звуковой ориентации во время пурги и туманов при видимости менее 50 м в поселках удаленных объектах должны быть задействованы сирены прерывистого действия или другие звуковые сигнальные приспособления.

11. Эксплуатация транспортных средств и механизмов в районах Крайнего Севера должна осуществляться в соответствии с ";Правилами техники безопасности для предприятий автомобильного транспорта";.

12. В зимнее время средства транспорта и механизмы должны выезжать как по трассе, так и по дорогам вне поселков колоннами не менее чем из двух машин, которые должны следовать друг за другом в пределах прямой видимости. При этом должна быть обеспечена возможность возвращения всех людей на одной из машин в случае выхода из строя другой машины.

13. Перед выходом на трассу транспортных средств должно быть тщательно проверено и хтехническое состояние в соответствии с требованиями, предъявляемыми к ним ";Правилами техники безопасности для предприятий автомобильного транспорта";. Запрещается выпускать на линию транспортные средства с обнаруженными неполадками.

14. Транспортные средства должны быть специально подготовлены для зимней эксплуатации: установлены приспособления для прогрева и запуска двигателя при низких температурах, а также обеспечены теплым капотом над местом его размещения; тщательно промыты и очищены системы охлаждения, топливопроводов, топливных баков и др.; заправлен двигатель антифризом для системы его охлаждения и соответствующими сортами топлива и смазки; утеплены аккумуляторные батареи и плотность электролита доведена до зимних норм; проверены и отрегулированы тормозные системы; отремонтированы имеющиеся и изготовлены недостающие цепи противоскольжения; установлены фары с противотуманными фильтрами; утеплены кабины, установлены и подключены приспособления для ее обогрева.

15. При направлении двух или более транспортных средств для совместной работы администрация обязана приказом назначить ответственного за технику безопасности. Выполнение требований этого ответственного обязательно для лиц, находящихся в колонне.

16. Выезжающие зимой в рейс должны быть одеты в теплую одежду и обуты в теплую обувь. Запрещается провоз недостаточно тепло одетых и обутых людей вне территории поселков. Выезжающие в рейс должны быть обучены мерам защиты от обморожения и оказанию доврачебной помощи.

17. Выезжающий в рейс должен иметь при себе спички в непромокаемой упаковке и карманный электрический фонарь.

18. Периодически, в обусловленное время, старший по колонне обязан сообщать на базу(диспетчеру) о своем местонахождении и условиях выполнения рейса, что должен регистрировать диспетчер в специальном журнале.

В случае отсутствия связи, не позднее 5 часов после установленного контрольного времени, база (диспетчер) обязана организовать розыск и оказание помощи колонне.

19. Если во время пурги транспортные средства вынуждены остановиться в пути, в колонне должен быть натянут пеньковый канат для ориентирования во время перехода от одной машины к другой.

20. Дороги в снегозаносимых районах должны быть обозначены хорошо видимыми вехам и высотой не менее 2 м над поверхностью снега с расстояниями между ними не более 50 м на транспортных дорогах и не более 10 м на пешеходных.

## 7.2 Техника безопасности при работе с добавками

Добавки для бетонов и строительных растворов являются веществами умеренно опасными и относятся к 3-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007. При хранении не выделяют вредных веществ и паров. Введение добавки в бетонную смесь не изменяет токсиколого-гигиенических характеристик бетона. Затвердевший бетон с добавкой в воздушную среду токсичных веществ не выделяет.

В отделениях приготовления растворов добавки и бетонных смесей необходимо предусматривать приточно-вытяжную вентиляцию.

В помещении, где проводятся работы с порошкообразной добавкой, не рекомендуется пользоваться открытым огнем, в том числе не рекомендуется производить электросварочные работы.

Добавки оказывают раздражающее действие на слизистые оболочки органов зрения и дыхания и незащищенную кожу. При работе с добавкой следует применять средства индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.103 и ГОСТ 12.4.011.

Рабочие, занятые приготовлением растворов добавки, должны быть обеспечены в зависимости от характера выполняемой работы специальной одеждой, обувью и средствами защиты рук, органов зрения и дыхания. [35]

При применении добавки ReoTeckDR 5300 необходимо использовать защитную одежду, перчатки, очки и маски, соблюдать правила производственной безопасности. Избегать прямого контакта со слизистыми оболочками во время хранения и применения, в случае попадания в организм немедленно обратиться к врачу. Хранить вдали от пищевых продуктов.[36]

При применении добавки в технологии бетона следует выполнять требования СНиП III-4-80, СНиП 12-03-99, ГОСТ 24211

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из основных показателей долговечности бетона, который в процессе эксплуатации подвергается циклическому замораживанию и оттаиванию, является его морозостойкость. Морозостойкость бетона зависит от многих факторов, определяющими из которых являются: качество применяемых материалов, водоцементное отношение в бетонной смеси и количество замкнутых резервных пор в бетоне (объем вовлеченного воздуха).

В регионах Крайнего Севера зачастую идет строительство ответственных объектов, которое осложняется дефицитом качественных материалов, а также отсутствием возможности их доставки. В связи с этим для обеспечения всех требований проекта требуется применять комплексный подход при подборе составов применяемых бетонов с учетом существующих ограничений.

В работе представлен способ повышения морозостойкости бетона В30 базового состава с F1 100 до F1 300, включающий: замену бездобавочного цемента на цемент того же производителя с содержанием доменного гранулированного шлака в количестве 6-20%; выбор высокоэффективной водоредуцирующей добавки на основе поликарбоксилатов, позволяющей обеспечить требуемую сохраняемость подвижности бетонной смеси; применение воздухововлекающей добавки в оптимальной дозировке, обеспечивающей требуемое содержание вовлеченного воздуха в бетонной смеси.

Проделанные работы показали экономическую эффективность предлагаемых решений.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1.ГОСТ 26633-2015 Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия – М.: Стандартиформ, 2019 – 8 с.
- 2.ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости – М.: Стандартиформ, 2014 – 33 с.
- 3.Моргун, А. Н. Морозостойкость бетона, способы ее повышения / А. Н. Моргун // Наука, техника и образование. – 2015. – №. 7 (13).].
4. Яшина, А. С. Способы повышения морозостойкости бетона / А. С. Яшина //Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки. – 2017. – С. 83-84.
5. Крамар, Л.Я. Исследование морозостойкости бетона с добавкоймикрокремнезема / Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов, С.П. Горбунов // Сб. «Путииспользования вторичных продуктов для производства строительныхматериалов и изделий». – Чимкент, 1986. – С. 211-213.
6. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / В.М. Москвин,Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
7. Москвин, В. М. Разрушение бетона,замораживаемого в растворах солей / В. М.Москвин, А. М. Подвальный, М. С. Садыков М.: Стройиздат,1971. – С.87-97
- 8.Трофимов, Б.Я. Механизм «старения» гидратных фаз цементногокамня при циклическом замораживании / Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар //Популярное бетоноведение. – № 3 (29), 2009. – С. 69-83.
9. Трофимов, Б.Я. Коррозия бетона: монография / Б.Я. Трофимов, М.И. Муштаков. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 310 с.
10. Горчаков, Г.И. О выборе морозостойких цементов и бетонов для гидротехнических сооружений / Г.И. Горчаков // Труды НИИЦементы. – 1954. – №. 8. – С. 142–152.
11. Вербек, Г.Д. Структура и физические свойства цементного камня / Г.Д. Вербек, Р.А. Хельмут // Пятый межд. конгресс по химии цемента. – М.: Стройиздат, 1973. – С. 250–270.

12. Шестоперов, С. В. Долговечность бетона / С.В. Шестоперов. – Автотрансиздат, 1960. – 362 с.
13. Добролюбов, Г. Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюбов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1983. – 134 с.
14. Шейкин, А.Е. Цементные бетоны высокой морозостойкости / А.Е. Шейкин, Л.М. Добшиц. – Л.: Стройиздат, 1989. – 128 с.
15. Большаков, В.И. Основы теории и методологии многопараметрического проектирования составов бетона / В.И. Большаков, Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – Днепропетровск: ПГАСА, 2006. – 265 с.
16. Ковшар, С.Н., Система прогнозирования морозостойкости цементного камня и тяжелого бетона / С.Н. Ковшар, М.С. Бибик, В.В. Бабицкий // Строительная наука и техника: научно-технический журнал. – 2009. – № 6. – С. 29–33.
17. Королев Е. В. Особенности структуры цементного камня и бетона //Инновации и инвестиции. – 2017. – №. 8.
18. Powers, T.C. A working hypothesis for fur her studies of frost resistance of concrete / T.C. Power // Proc. ACI – 1945. – № 41. – P. 245–272.
19. Демидов, Р. В. Введение воздухововлекающих добавок как способ улучшения свойств бетонной смеси и бетона / Р. В. Демидов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. – 2015. – С. 118-120.
20. Белых, С. А., Малоэнергоёмкие способы получения воздухововлекающих добавок в сухие строительные смеси / С. А.Белых, А. М. Фадеева // Сухие строительные смеси. – 2008. – №. 1. – С. 1.
21. СНиП 3.06.04-91 Мосты и трубы. – Минстрой России - М: АПП ЦИТП, 1992
22. Руководство по применению новых воздухововлекающих химических добавок в бетонах для мостов. – М.ЦНИИС, 1985
- 23.Кудяков, А. И. Смеси сухие растворные цементные с микрогранулированной воздухововлекающей добавкой / А. И.Кудяков, С. А.Белых, А. М. Даминова //Строительные материалы. – 2010. – №. 1.
24. Михайлов, Г. Г., Морозостойкость пропаренного бетона на шлакопортландцементях / Г. Г.Михайлов, Б. Я.Трофимов, Е. А.Гамалий //

Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2012. – №. 17 (276)

25. Трофимов, Б. Я. Влияние количества шлака в цементе на морозостойкость тяжелого бетона / Б. Я. Трофимов, Л. Я. Крамар, К. В. Шулдяков // Строительные материалы. – 2013. – №. 9. – С. 96 – 100

26. Трофимов, Б. Я. Регулирование морозостойкости бетона на шлакопортландцементях / Б. Я. Трофимов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2007. – №. 14 (86). – С.18 – 20.

27. Шулдяков, К. В. Высокоморозостойкий бетон без воздухововлечения / К. В. Шулдяков, Б. Я. Трофимов, Л. Я. Крамар // Строительные материалы. – 2020. – №. 6. – С. 18-26.

28. Трофимов, Б. Я. Деформации и стойкость бетона при циклическом замораживании / Б. Я. Трофимов, Л. Я. Крамар // Строительные материалы. – 2014. – №. 8 – С. 46 – 51.

29. Трофимов, Б. Я. Дорожные бетоны повышенной морозостойкости / Б. Я. Трофимов, С. П. Горбунов // Цемент и его применение. – 2011. – №. 6. – С. 66-69.

30. Бровкина, Н.Г. Повышение водонепроницаемости и морозостойкости цементных бетонов пропиточными солевыми растворами: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Н.Г. Бровкина. – 2012. – 24 с.

31. Розенталь Н.К. Гидрофобизация бетона как средство для повышения долговечности строительных конструкций / Н.К. Розенталь // Бетон и железобетон. – 2015. – № 2. – С. 24–27.

32. Трофимов, Б.Я. Повышение эффективности производства сборного железобетона / Б.Я. Трофимов, К.В. Шулдяков // университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). – Издательство: Оренбургский государственный университет, 2015. – С. 12 – 18.

33. Кирсанова, А. А. Высокоэффективные тяжелые бетоны с высокой морозостойкостью / А. А. Кирсанова // Наука ЮУрГУ. Секции технических наук: материалы 68-й науч. конф./отв. за вып. СД Ваулин; Юж.-Урал. гос. ун-т.- Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016.-1225 с.
34. Макаров, Ю.А. Использование минеральных добавок для повышения долговечности бетона / Ю.А. Макаров, С.В. Лукашина // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Т. 19, №. 1. – С. 36–40.
35. Ибрагимов, Р.А. Тяжелые бетоны с комплексной добавкой на основе эфиров поликарбоксилатов: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Р.А. Ибрагимов. – Казань, 2001. – 23 с.
36. Захезин, А. Е. Цементные дорожные бетоны с комплексными добавками на основе алифатических эпоксидных смол :дис. – Челябинск, 2010.
37. Петрова, А.А. Увеличение морозостойкости бетона / А.А. Петрова, Д.А. Алиева // Фундаментальные основы инновационного развития науки и образования. – 2018. – №1. – С. 110–112.
38. Ильина Л. В. Повышение морозостойкости бетона введением дисперсных минеральных добавок / Л.В. Ильина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – №. 6. – С. 32-38.
39. Шулдяков, К. В. Структура и свойства цементного камня с модификаторами / К. В Шулдяков, Л. Я. Крамар, Б. Я.Трофимов, А. М. Махмудов//Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Т. 20. – №. 2.
40. Химический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия. 1983.
41. Курс общей химии. – М.: Высшая школа. 1981 –431с.
42. Кучеренко, А. А. О механизме пластификации бетонных смесей / А. А. Кучеренко //Вестник ОГАСА. – 2007. – №. 25.
43. Ушеров-Маршак А.В. Добавки нового поколения. / А. В. Ушеров-Маршак. – Сб. “Химические и минеральные добавки в бетон. X.: Колорит, 2005. –280 с.

44. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д. Н. Гаркунов. –М.: машиностроение, 1985. – 424с.
45. Shitikov, E.S. Lignosulfonate plasticizers of new type for concrete mixes and concretes of various areas of application / E.S. Shitikov // Building materials. – 2002. – №6. – P. 36-38.
46. Гаркави, М. С. Влияние модифицированныхлигносульфонатов на твердение и долговечность бетона на основе шлакопортландцемента/ М. С.Гаркави, Е. А. Трошкина //Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2008. – №. 3. – С. 50 – 55
47. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика /В.Г. Батраков. – М. :Технопроект, 1998. – 768 с.
48. Гувалов, А. А. Новые добавки для беспарочной технологии производства бетона / А. А.Гувалов, С. И. Аббасова //Технологи бетонов. – 2014. – №. 8. – С. 39 – 41.
49. Кирсанова, А. А.Высокофункциональные тяжёлые бетоны нормального твердения / А. А.Кирсанова, Л. Я.Крамар, А. А. Рузавин //Архитектура, градостроительство и дизайн. – 2017. – №. 15. – С. 32.
50. Гамалий, Е. А. Влияние поликарбоксилатного суперпластификатора на структуру и свойства цементного камня при циклическом замораживании и оттаивании / Е. А.Гамалий, Б. Я. Трофимов, Л. Я. Крамар //Технологии бетонов. – 2013. – №. 6. – С. 28-30.
51. Гамалий Е.А. Структура и свойства цементного камня с добавками микрокремнезема и поликарбоксилатного пластификатора / Е.А. Гамалий, Б.Я Трофимов, Л.Я. Крамар // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – Вып. 8. – № 16 (149), 2009, с. 29-35.
52. Шулдяков, К. В. Особенности влияния пластификатора на структуру цементного камня и свойства бетона / К. В.Шулдяков, Л. Я. Крамар, Б. Я. Трофимов, И. М. Иванов //ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ТЕХНИКЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ: ПМТС 2015. – 2015. – С. 423-426.

53. Крамар, Л. Я. Цементные тяжелые бетоны для строительства скоростных автомобильных дорог / Л. Я.Крамар, А. И.Кудяков, Б. Я.Трофимов, К. В.Шуддяков, //Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2017. – №. 4 (63). – С. 148 – 157.