

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

ВКР ПРОВЕРЕНА

Рецензент

/В.И.Зубов/

« »

2020 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

/А.А. Орлов/

« »

2020 г.

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе

08.04.01.2020.103.00.00.ПЗ

**Влияние добавок-модификаторов на технические характеристики бетона,
эксплуатируемого в условиях Крайнего Севера**

Руководитель ВКР

/М.Д. Бутакова/

« »

2020 г.

Автор ВКР

Студент группы АС – 269

/Р.И. Сафиулов/

« »

2020 г.

Нормоконтролёр

/Т.Н. Черных/

« »

2020 г.

Челябинск
2020

АННОТАЦИЯ

Сафиуллов Р.И. Влияние добавок-модификаторов на технические характеристики бетона, эксплуатируемого в условиях Крайнего Севера – Челябинск: ЮУрГУ, СМиИ, 2020,82., 6 ил., 37 табл.

Библиографический список – 33 наименований.

В выпускной квалификационной работе рассмотрено влияние полифункционального модификатора бетона - ПФМ-НЛК, относящегося к классу сильнопластифицирующих добавок, на технические свойства тяжелого бетона разных классов по прочности на сжатие. Рассмотрены методы испытаний инертных материалов, образцов-кубов бетона, приведены результаты испытаний по прочности и морозостойкости.

					<i>08.04.01.2020.103.00.00.ПЗ</i>			
<i>Изм</i>	<i>Дата</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Влияние добавок-модификаторов на технические характеристики бетона, эксплуатируемого в условиях Крайнего Севера</i>	<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		Сафиуллов Р.И.				<i>ВКР</i>	4	97
<i>Проверил</i>		Бутакова М.Д.				<i>ЮУрГУ (НИУ) Кафедра «Строительные материалы и изделия»</i>		
<i>Нормоконтр.</i>		Черных Т.Н.						
<i>Зав. каф.</i>		Орлов А.А.						

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	8
1.1 Общие сведения о бетоне	8
1.2 Материалы для изготовления тяжелого бетона	10
1.3 Свойства бетонной смеси.....	13
1.4 Факторы, влияющие на удобоукладываемость бетонной смеси	14
1.5 Факторы, влияющие на прочность тяжелого бетона	15
1.6 Особенности технологии бетона	17
1.7 Свойства тяжелого бетона.....	21
1.8 Понятие о железобетоне.....	23
1.9 Факторы, влияющие на морозостойкость бетона.....	23
1.10 Виды, влияние добавок на бетон и их основные свойства	29
1.11 Особенности бетонных работ в условиях Крайнего Севера	47
ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ	49
2 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ	50
3 ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	52
3.1 Инертные материалы	52
3.2 Вяжущее вещество	52
3.3 Модификатор – Полифункциональный модификатор ПФМ-НЛК.....	53
3.3 Вода затворения	55
4 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	56
4.1 Испытания песка на соответствие требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия», ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».	56
4.2 Испытания щебня на соответствие требованиям ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия», ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».	58
4.3 Испытание пробы воды, отобранной из емкости для воды на БРУ Ленского НГКМ на соответствие требованиям п.4.8. ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».	61
4.4 Испытание комплексной добавки на эффективность действия	62

5 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ.....	65
5.1 Результаты испытаний инертных материалов и воды	65
5.2 Подборы составов тяжелого бетона различных классов по прочности на сжатие.....	67
5.3 Результаты испытаний образцов бетона на прочность при сжатии и морозостойкость.....	72
ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ.....	88
6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	90
7 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	92
7.1 Общие положения техники безопасности	92
7.2 Техника безопасности при работе с добавками.....	92
7.3 Техника безопасности при работе с добавками «ПФМ-НЛК».....	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	95
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	96

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день бетон является одним из самых распространенных строительных материалов, общемировой объём потребления которого, составляет около 8 миллиардов кубических метров в год.

Существует достаточно большое количество методов и технологии производства работ с бетоном, выбор которых осуществляется исходя из особенностей проектируемого объекта (объемно-планировочных, конструктивных, назначения и т.д.), природно-климатических или специальных особенностей (эксплуатация в агрессивной среде, проницаемость и т.д.).

В настоящее время при строительстве в северных регионах страны, остро стоит проблема разрушения бетонных и железобетонных конструкций, не выдерживающих суровый зимний климат. Большинство наружных конструкций из бетона и железобетона подвергаются агрессивным воздействиям окружающей среды, таким как циклическое изменение температуры, циклическое замораживание-оттаивание, циклическое увлажнение-высушивание и т.д.

Недолговечность наружных конструкций бетона и железобетона для северных регионов и в России в целом, связана с прочностными характеристиками бетона и его морозостойкостью, методами ее оценки и способами повышения, в связи с особенностями географического расположения и климатическими условиями района строительства. В таких условиях особенно важно соблюдать технологию выполняемых работ, а также применять подходящие материалы.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Общие сведения о бетоне

Бетоном называют искусственный каменный материал, получаемый в результате затвердевания рациональной по составу, тщательно перемешанной и уплотненной смеси, состоящей из вяжущего вещества, воды и заполнителей. До затвердевания эта смесь называется бетонной. Помимо перечисленных компонентов в состав бетонной смеси могут вводиться специальные добавки для улучшения требуемых свойств получаемого материала.

Бетоны относятся к самым массовым по применению в строительстве материалам благодаря их высокой прочности, надежности и долговечности при работе в конструкциях зданий и сооружений. Наряду с этим у бетонов имеется и много других положительных качеств: возможность получения практически любых заданных форм и размеров изделий и конструкций; механизация бетонных работ; разнообразие свойств бетона, достигаемое использованием соответствующих вяжущих веществ, заполнителей и специальных добавок; экономичность состава бетона, до 80...90 % объема которого приходится на долю заполнителей из местных материалов; возможность использования разнообразных крупнотоннажных отходов промышленности. Состав бетонной смеси должен обеспечить бетону к определенному сроку заданные свойства (прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и др.). Бетоны, имеющие очень широкий диапазон строительно-технических свойств, классифицируются по различным признакам.

По назначению бетоны подразделяются на: конструкционные и специального назначения (теплоизоляционные, жаростойкие, химстойкие, декоративные, радиационно-защитные и др.).

По виду вяжущего бетоны подразделяют на группы с соответствующими названиями.

Цементные бетоны, изготавливаемые на различных цементах, наиболее широко применяют в строительстве. Среди них основное место занимают бетоны

на основе портландцемента и его разновидностей (около 65 % общего объема производства).

Силикатные бетоны на основе извести. Для производства изделий в этом случае могут применяться автоклавный и неавтоклавный способы твердения.

Гипсовые бетоны, применяемые для внутренних перегородок, подвесных потолков и элементов декоративной отделки зданий. Их разновидностью являются гипсоцементнопущоцолановые бетоны, обладающие повышенной водостойкостью и применяемые при изготовлении объемных блоков санузлов, конструкций малоэтажных домов.

Шлаковые бетоны изготавливают на основе молотых шлаков и зол с активизаторами твердения — щелочными растворами, известью, цементом или гипсом.

По структуре различают:

– бетоны плотной структуры, у которых пространство между зернами крупного и мелкого или только мелкого заполнителя занято затвердевшим вяжущим веществом и порами вовлеченного газа или воздуха. Бетоны плотной структуры могут изготавливаться без крупного заполнителя, на основе плотных мелких заполнителей (размер зерен заполнителя менее 5 мм), тогда они называются мелкозернистыми бетонами (пескобетон);

– бетоны крупнопористые (беспесчаные), у которых пространство между зернами крупного заполнителя не полностью или совсем не заполнено мелкими заполнителями;

– бетоны ячеистой структуры, имеющие в основном своем объеме равномерно распределенные поры в виде ячеек, полученные при помощи пеной газообразующих добавок.

По виду заполнителей различают бетоны на плотных, пористых и специальных заполнителях:

– бетоны на плотных заполнителях, получаемых из плотных горных пород (известняк, гранит) или из отходов промышленности;

– бетоны на пористых заполнителях, изготавливаемые с использованием природных пористых заполнителей (пемза, туф) или искусственных (керамзит, аглопорит). В эту группу входят также бетоны, в которых крупные заполнители пористые, а мелкие — плотные;

– бетоны на специальных заполнителях, получаемые с использованием материалов, которые придают бетонам специфические свойства.

Многие свойства бетона зависят от его плотности. По плотности бетоны делят на особо тяжелые (с плотностью более 2500 кг/м^3); тяжелые ($2200 \dots 2500 \text{ кг/м}^3$); облегченные ($1800 \dots 2200 \text{ кг/м}^3$); легкие ($500 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$); особо легкие (менее 500 кг/м^3).

Особо тяжелые бетоны, используемые для защиты от радиации, изготавливают на тяжелых заполнителях — стальных опилках или стружках (сталебетон), железной руде (лимонитовый и магнетитовый бетоны) или барите (баритовый бетон).

Тяжелые бетоны, используемые в качестве конструкционных, получают на плотных заполнителях из горных пород — гранита, диабазы, известняка, песчаника.

В легких бетонах, которые в основном применяют для ограждающих конструкций, в качестве заполнителя используют пористые заполнители природного (пемза, туф) или искусственного (керамзит, аглопорит, вспученный шлак, перлит) происхождения. В легких бетонах может отсутствовать песчаная фракция, вследствие чего между зернами крупного заполнителя образуются пустоты, а сам бетон в этом случае называется крупнопористым легким бетоном.

Особо легкие бетоны, используемые для целей теплоизоляции, характеризуются наличием искусственно созданных в них воздушных ячеек размерами $0,2 \dots 2 \text{ мм}$. К ним относятся ячеистые бетоны (газобетон, пенобетон), которые получают путем поризации смеси вяжущего вещества, тонкомолотой минеральной добавки, порообразующих добавок и воды, а также крупнопористые бетоны на пористых заполнителях[1].

1.2 Материалы для изготовления тяжелого бетона

Для получения качественного бетона необходимо правильно выбирать исходные материалы для его изготовления.

Для наиболее распространенного тяжелого бетона в основном применяют портландцемент и его разновидности, хотя возможно применение и других вяжущих. Цементы должны удовлетворять требованиям соответствующих нормативных документов. Для получения соответствующей прочности бетона необходимо соблюдать соотношение между активностью (фактической прочностью) цемента и проектируемой маркой бетона в пределах $1,5 \div 2,5$.

Вода, используемая для затворения бетонной смеси, не должна содержать вредных примесей.

В качестве мелкого заполнителя обычно применяют природные или искусственные пески, которые состоят из зерен размером 0,16...5 мм. Качество песка определяется минеральным и зерновым составом, а также содержанием вредных примесей. Наиболее часто используемые природные пески представляют рыхлую смесь зерен различных минералов, входивших в состав горных пород, из которых при их разрушении образовался песок.

Песок должен состоять из зерен разного размера, чтобы зерна меньшего размера располагались в пустотах между крупными зёрнами, что ведет к уменьшению пустотности заполнителя и, как следствие, к уменьшению расхода цемента в бетонной смеси. Зерновой состав песка определяется путем просеивания пробы песка (1000 г) через стандартный набор сит с размером отверстий 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 мм. При просеивании определяются частные и полные остатки на ситах. Затем, по результатам просеивания, строится график зернового состава песка. Кривая просеивания должна находиться в области оптимального зернового состава, которая устанавливается нормативными документами.

Для оценки крупности песка применяют безразмерный показатель — модуль крупности, в зависимости от величины которого пески разделяют на очень мелкие, мелкие, средние, крупные и очень крупные.

Количество вредных примесей в песке ограничивается нормативными документами. К вредным примесям относят частицы пыли, ила и глины, которые

увеличивают водопотребность бетонной смеси, расход цемента для изготовления бетона и снижают прочностные характеристики бетона. К вредным также относятся органические примеси, которые препятствуют твердению цемента.

Для бетонов ответственных сооружений необходимо применять мытые, фракционированные пески.

В качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона применяют щебень или гравий с размером зерен 5...70 мм. Для бетонирования массивных конструкций допускается применение заполнителя крупностью до 150 мм. Гравий — это природный материал, имеющий сферическую форму и окатанную гладкую поверхность. Щебень, получаемый путем дробления плотных горных пород, имеет неправильную остроугольную форму и шероховатую поверхность.

Качество крупного заполнителя определяется минеральным составом, свойствами исходной горной породы (ее прочностью, морозостойкостью и др.), зерновым составом, формой зерен и наличием вредных примесей.

Прочность при сжатии в исходной горной породе в водонасыщенном состоянии должна не менее чем в 1,5...2 раза превышать прочность бетона. По аналогии с песком зерновой состав должен удовлетворять требованиям нормативных документов. Содержание вредных примесей (пыль, ил, глина, органика) также регламентируется нормами. По аналогии с мелким заполнителем для бетонов ответственных сооружений необходимо применять мытый, фракционированный заполнитель. Помывка и фракционирование заполнителей производится на специальных установках — грохотах. Для придания бетонным смесям и бетонам специальных свойств, а также экономии цемента, материальных и трудовых ресурсов применяют различные добавки. Чаще всего используют химические добавки, которые вводятся в состав бетонной смеси в количестве 0,1...2 % от массы цемента и служат для изменения свойств бетонной смеси и бетона: улучшения удобоукладываемости, ускорения скорости и сроков твердения, повышения морозостойкости, коррозиестойкости и т.д.

С целью экономии цемента, получения плотной структуры бетона при малых расходах цемента и повышения его водостойкости используют тонкодисперсные минеральные добавки в количестве 5...20 % от массы цемента.

1.3 Свойства бетонной смеси

Бетонная смесь получается путем тщательного смешивания вяжущего, заполнителей, воды и добавок и представляет собой сложную многокомпонентную полидисперсную систему. Основной технологической характеристикой бетонной смеси в производственных условиях является ее удобоукладываемость.

По удобоукладываемости бетонные смеси подразделяют на группы: жесткие, подвижные и растекающиеся. Удобоукладываемость растекающихся и подвижных бетонных смесей определяется по осадке стандартного усеченного конуса, изготовленного из листовой стали, и выражается в сантиметрах[5].

Конус устанавливают на ровной горизонтальной площадке, поверхность которой не впитывает влагу, и наполняют бетонной смесью в три приблизительно одинаковых по высоте слоя. Каждый слой штыкуют (уплотняют) 25 раз. Затем срезают излишек смеси и поднимают металлический конус. Конус из бетонной смеси под действием собственной массы оседает. Разница между высотами стального и бетонного конусов и будет осадкой конуса. Чем она больше, тем лучше удобоукладываемость бетонной смеси.

Бетонные смеси, не имеющие осадки конуса, называются жесткими и их удобоукладываемость определяется на специальном приборе

Прибор, установленный на виброплощадке, представляет собой металлический цилиндр диаметром 240 и высотой 200 мм. В цилиндр устанавливается металлический конус, который заполняется бетонной смесью так же, как и при определении подвижности. После снятия металлического конуса на конус из бетонной смеси опускается пригруз, после чего виброплощадка включается и засекается время от момента включения до момента, когда бетонная смесь займет горизонтальное положение.

Удобоукладываемость жестких бетонных смесей выражается в секундах. Чем выше показатель жесткости, тем хуже удобоукладываемость.[7]

Одним из важнейших свойств бетонной смеси является тиксотропия, т.е. способность бетонной смеси разжижаться при механическом воздействии и вновь загустевать после прекращения воздействия. Это свойство широко используется при укладке и уплотнении бетонной смеси.

1.4 Факторы, влияющие на удобоукладываемость бетонной смеси

Расход воды — определяющий фактор удобоукладываемости. С увеличением количества воды улучшается удобоукладываемость, за счет уменьшения вязкости цементного теста.

Вид применяемого цемента оказывает влияние на удобоукладываемость бетонной смеси, так как разные виды цементов (портландцемент, быстротвердеющий, пуццолановый и др.) имеют различную нормальную густоту.

Крупность заполнителя — чем мельче зерна заполнителя, тем больше его удельная поверхность и его водопотребность, т.е. количество воды, необходимое на смачивание поверхности заполнителя. Вид и пористость заполнителя — бетонные смеси, приготовленные на гравии, при прочих равных условиях имеют лучшую удобоукладываемость, чем смеси, приготовленные на щебне. С увеличением пористости зерен крупного заполнителя удобоукладываемость ухудшается, так как часть воды затворения поглощается заполнителем.

Объем цементного теста – чем больше объем цементного теста, выполняющего роль смазки между зернами заполнителя, тем лучше удобоукладываемость.

Объем цементно-песчаного раствора – с увеличением объема растворной составляющей в бетонной смеси ее удобоукладываемость улучшается. При недостаточном объеме цементно-песчаного раствора он лишь заполняет межзерновые пустоты крупного заполнителя, и зерна контактируют между собой. При избыточном объеме растворной составляющей зерна крупного заполнителя «плавают» в растворе. Объем цементно-песчаного раствора регулируется

коэффициентом раздвижки зерен, который для жестких смесей находится в пределах 1,05...1,15, а для литых и подвижных – 1,2...1,5. Наличие в бетонной смеси пластифицирующих добавок позволяет улучшить удобоукладываемость или снизить расход воды при сохранении прежней удобоукладываемости, что ведет к повышению прочности бетона.

1.5 Факторы, влияющие на прочность тяжелого бетона

Прочность является основной характеристикой тяжелого бетона как конструкционного материала. Численное значение прочности определяется действием многих факторов, из которых можно выделить два основных: качество первоначально применяемых материалов и пористость бетона. Качество цементного вяжущего определяется его маркой R_c или активностью, качество заполнителей учитывается эмпирическим коэффициентом A . Пористость бетона зависит от расхода воды затворения.

Рассмотрим график зависимости прочности бетона от количества воды затворения (рис. 1), построенный для бетона, изготовленного с постоянным расходом цемента и одинаковой работой уплотнения.

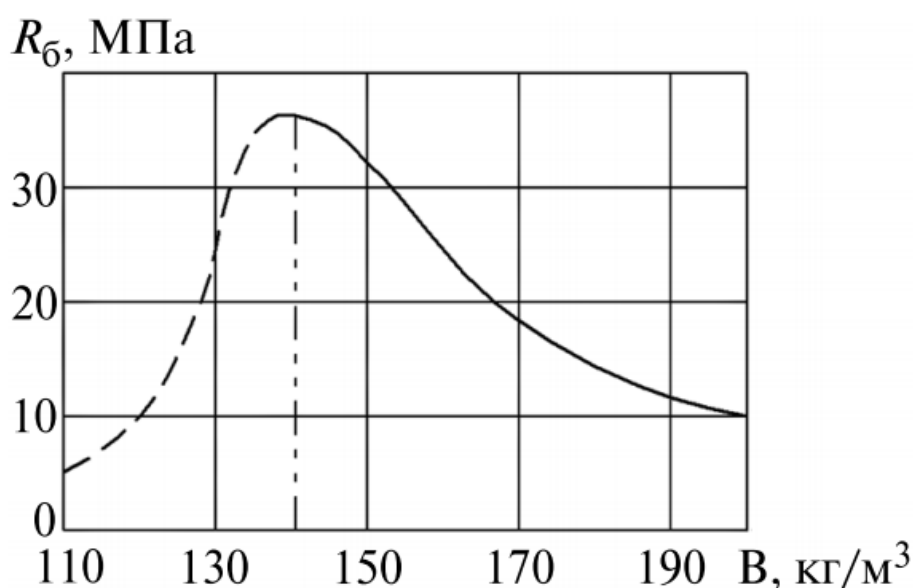


Рисунок 1 – Зависимость прочности бетона при сжатии R_b от количества воды затворения V (расход цемента и работа уплотнения постоянны)

Эта зависимость изображается кривой, имеющей две ветви. Левая ветвь соответствует неудобоукладываемым смесям, которые являются слишком жесткими для данного способа уплотнения. Низкая прочность бетона в этой части кривой объясняется наличием многочисленных крупных воздушных пустот, каверн, неплотностей, которые возникают вследствие чрезмерно высокой (для данного способа уплотнения) вязкости цементного теста. По мере увеличения количества воды вязкость цементного теста и, следовательно, бетонной смеси понижается, так что становится возможным уложить смесь весьма плотно, с наименьшим количеством дефектов. Максимум на кривой прочности соответствует оптимальному для данного способа уплотнения расходу воды, при котором смесь укладывается наиболее плотно. При увеличении количества воды сверх оптимального бетонная смесь укладывается так же плотно, однако прочность бетона уменьшается (правая ветвь кривой) вследствие того, что лишь часть добавляемой воды (15...20 % от массы цемента) связывается. Избыток воды затворения после испарения образует высокопористую структуру, что ведет к понижению прочности.[11]

На практике обычно используют зависимость прочности бетона от цементно-водного (Ц/В) отношения (рис. 2). Эта зависимость получила название основного закона прочности бетона:

$$R_b = AR_c \left(\frac{Ц}{В} \pm b \right),$$

где R_b – прочность бетона; A – коэффициент, учитывающий качество заполнителей; R_c – марка (активность) цемента; $Ц$ – расход цемента, кг; $В$ – расход воды, л; b – коэффициент, определяемый опытным путем.

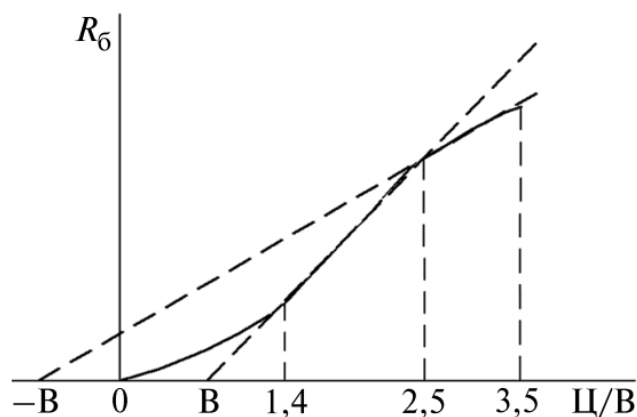


Рисунок 2 – Фактическая зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения

1.6 Особенности технологии бетона

Как уже отмечалось выше, существенное влияние на прочность и другие свойства бетона оказывают производственные факторы. Производство бетона включает следующие основные технологические процессы:

- приготовление бетонной смеси;
- транспортирование бетонной смеси;
- укладку и уплотнение бетонной смеси;
- твердение бетона.

Приготовление бетонной смеси осуществляется при последовательном выполнении технологических операций дозирования и перемешивания.

При дозировании компонентов бетонной смеси необходимо обеспечить точность взвешивания, которая гарантирует соответствие фактического состава заданному. Согласно требованиям нормативных документов, точность дозирования для цемента, воды и добавок должна быть в пределах $\pm 1\%$, заполнителей $\pm 2\%$. Все материалы дозируют по массе, в редких случаях допускается дозирование заполнителей по объему. Для дозирования используют автоматические дозаторы, обеспечивающие не только требуемую точность взвешивания, но и малую продолжительность операции. Перемешивание должно обеспечить однородность бетонной смеси за счет равномерного распределения

компонентов по всему объему смеси. Перемешивание отдозированных компонентов производят в бетоносмесителях различной конструкции.

Бетоносмесители по режиму работы подразделяются на периодического и непрерывного действия; по принципу перемешивания – на гравитационные и принудительного действия. Длительность перемешивания зависит от емкости бетоносмесителя, удобоукладываемости бетонной смеси и определяется опытным путем. Смесители непрерывного действия применяются при больших объемах производства бетонной смеси постоянного состава, например, для гидротехнического или дорожного строительства. Для перемешивания легковесных смесей на пористых заполнителях, мелкозернистых и жестких бетонных смесей применяют только бетоносмесители принудительного действия.

Транспортирование должно обеспечивать сохранность, однородность и удобоукладываемость бетонной смеси, а также исключить попадание в нее атмосферных осадков. Транспортирование готовых бетонных смесей к месту формирования производится различными транспортными средствами: автосамосвалами или, при перевозке на дальние расстояния, автобетоносмесителями. На предприятиях сборного железобетона доставку бетонной смеси от бетоносмесительного узла до места укладки производят ленточными транспортерами, бетононасосами, бадьями, вагонетками и самоходными бункерами, которые перемещаются по рельсам.

Укладка и уплотнение бетонной смеси должны обеспечить получение однородного бетона. Укладка производится с помощью самоходных бетонораздатчиков, бетоноукладчиков и бункеров, которые перемещаются при помощи кранов, также используется система пневмотранспорта.

Способ уплотнения бетонной смеси зависит от ее удобоукладываемости. Наибольшее распространение получил способ виброуплотнения. При вибрировании силы трения и сцепления в смеси уменьшаются, связи между частицами нарушаются, и бетонная смесь ведет себя как тяжелая жидкость, заполняя форму и уплотняясь под действием сил тяжести.

Уплотнение бетонных смесей вибрацией обеспечивается при различных способах передачи колебаний от вибратора:

а) бетонная смесь вибрируется вместе с формой, установленной на виброплощадке; данный прием широко используется в заводском производстве железобетонных изделий;

б) колебания передаются непосредственно бетонной смеси с помощью переносных поверхностных вибраторов и вибропротяжных устройств различной конструкции; такой способ используется при уплотнении бетонных смесей в конструкциях с большой открытой поверхностью, например, при изготовлении плит различного профиля, в дорожном строительстве;

в) колебания передаются через элементы форм (боковые и разделительные стенки), к которым крепятся навесные вибраторы; используется при изготовлении изделий в вертикальных формах;

г) колебания бетонной смеси передаются от введенных в нее внутренних вибраторов (переносных глубинных вибраторов, вибросердечников); способ применяется при бетонировании массивных и различных пустотелых конструкций.

Используемые частота и амплитуда колебаний зависят от многих факторов: удобоукладываемости бетонной смеси, крупности заполнителей, необходимости учитывать воздействие вибрации и шума на рабочих местах и др. Оптимальная частота колебаний находится в пределах от 3000 до 6000 кол/мин, а амплитуда может колебаться от 0,15 до 0,7 мм.

В случаях, когда для уплотнения смеси одних вибрационных воздействий недостаточно, используют вибрирование в сочетании с давлением. Этот способ позволяет применять более жесткие бетонные смеси, повышать эффективность уплотнения. Вибрирование в сочетании с давлением осуществляется на виброплощадках с пригрузом, при уплотнении вибропрессами, виброштампами и др. Для получения бетона плотной структуры из подвижных смесей используют способы уплотнения с удалением некоторого количества воды затворения. К ним относятся способы центрифугирования и вакуумирования.

При центрифугировании бетонная смесь уплотняется под действием центробежных сил при вращении формы. Способ используется для изготовления полых трубчатых конструкций.

Уплотнение и отжатие части воды из бетонной смеси при вакуумировании происходит за счет создания разрежения (снижение давления в бетонной смеси). Для повышения эффективности процесса его используют совместно с вибрацией (вибровacuумирование).

Все технологические операции по приготовлению, транспортировке, укладке и уплотнению бетонной смеси должны быть выполнены до начала схватывания применяемого вяжущего.

Твердение бетона происходит в естественных условиях или при тепловлажностной обработке. При естественном твердении бетон выдерживают до получения заданной прочности в условиях нормальной температуры (15...20 °С) и повышенной влажности.[14]

Уложенный в форму (опалубку) бетон набирает прочность постепенно, по мере твердения цементного камня. В начальный период (первые несколько суток) нарастание прочности происходит интенсивно, а далее постепенно замедляется. При этом скорость нарастания прочности зависит от температуры и влажности среды. Марочная прочность обычного бетона достигается за 28 сут нормального твердения.

С повышением температуры скорость химических реакций взаимодействия цемента с водой увеличивается и твердение бетона ускоряется, но при обязательном условии обеспечения влажности среды. При испарении влаги из бетона его твердение практически прекращается. При этом в обезвоженном бетоне образуются трещины и снижается прочность.

Высокая температура (около 60...100 °С) при условии обеспечения близкой к 100 % влажности среды значительно ускоряет химические реакции в бетоне, что приводит к увеличению прочности в начальные сроки. Такой вид тепловлажностной обработки называется пропариванием. Прочность бетона, пропаренного в течение 7...14 ч, составляет около 70 % от проектной.

Тепловая обработка бетона паром высокого давления (0,8...1,2 МПа) с температурой 175...190 °С в большей мере ускоряет процессы твердения. Такой способ ускоренного твердения бетона называют автоклавной обработкой. Производится она в аппаратах высокого давления – автоклавах.

Кроме пара в качестве источника тепловой энергии могут быть использованы электрический ток, продукты сгорания природного газа, солнечная энергия и др. При таких видах тепловой обработки должна предусматриваться защита твердеющего бетона от испарения влаги.

1.7 Свойства тяжелого бетона

Основным свойством тяжелого бетона как конструкционного материала является прочность. Бетон хорошо сопротивляется напряжениям сжатия и значительно хуже – напряжениям растяжения. Прочность бетона на осевое растяжение в 15...20 раз меньше, чем прочность на сжатие.

Для оценки прочности бетона на сжатие используют его класс или марку. Марка тяжелого бетона определяется по среднему значению прочности, полученному при испытании серии стандартных образцов кубов 150×150×150 мм в возрасте 28 сут нормального твердения (температура 20±2 °С, относительная влажность воздуха более 90 %). Возможно испытание образцов, имеющих другие размеры (100×100×100; 200×200×200), однако при помощи масштабного коэффициента их прочность должна быть приведена к прочности базового образца.

Бетоны подразделяются на марки по прочности на сжатие: М50; М75; М100; М150; М200; М250; М300; М400; М500 и выше с интервалом 100. Цифра показывает минимальную прочность в кг/см². Марка бетона не учитывает фактическую неоднородность прочности, а это может привести к тому, что прочность бетона в некоторых сечениях конструкции окажется значительно ниже требуемой, тогда как в других — выше необходимой. На прочности сказываются колебания в качестве цемента и заполнителей, точность дозировки компонентов, качество перемешивания, степень уплотнения и другие факторы[6].

Статистической характеристикой однородности прочности бетона является коэффициент вариации v , который равен отношению среднеквадратного отклонения отдельных результатов испытаний прочности бетона к его средней прочности. В идеальном случае $v = 0$, т.е. получены одинаковые результаты испытаний. Коэффициент вариации прочности бетона может колебаться от 0,05 до 0,2. На предприятиях с хорошо отлаженной технологией значение v не превышает 0,1. Нормативный коэффициент вариации, принимаемый для расчетов, составляет 0,135.

В связи с неоднородностью свойств бетона используется другая оценка его прочности – класс бетона по прочности B . Бетоны по прочности на сжатие подразделяются на следующие классы: B3,5; B5; B7,5; B10; B12,5; B15; B20; B22,5; B25 – B80. Класс бетона по прочности определяет величину прочности, гарантированную с обеспеченностью 0,95. Это значит, что в 95 случаях из 100 будет получена требуемая или большая прочность, а в пяти случаях может быть получена меньшая, по сравнению с требуемой.

Водопоглощение тяжелого бетона по массе составляет 4...8 %, или 10...20 % по объему. Водопоглощение бетона определяет его открытая капиллярная пористость.

Плотные бетоны обычно непроницаемы для воды, действующей без напора. Для оценки водонепроницаемости бетона устанавливаются марки от W0,2 до W2,0. Марка по водонепроницаемости определяется испытанием стандартных образцов под давлением и показывает величину избыточного давления, при котором бетон не пропускает воду. Например, бетон марки W0,8 выдерживает без фильтрации давление воды до 0,8 МПа.

Морозостойкость тяжелого бетона в первую очередь зависит от величины пористости, характера и размера пор. Кроме этого, влияние оказывает вид применяемого цемента и морозостойкость заполнителей. Для получения морозостойких бетонов используют бездобавочные портландцементы или цементы с ограниченным количеством минеральных добавок, в которых содержание C3S составляет 45...55 %, а содержание C3A не превышает 5 %.

1.8 Понятие о железобетоне

Железобетон – это композиционный строительный материал, в котором наилучшим образом используются прочностные свойства бетона и стальной арматуры.

Бетон обладает способностью, присущей большинству искусственных и природных каменных материалов, хорошо работать на сжатие, но плохо сопротивляться растяжению. Как уже отмечалось, прочность бетона при растяжении составляет всего лишь около $1/10 \dots 1/20$ его прочности на сжатие. Поэтому растянутую зону конструкций армируют стальной арматурой, которая воспринимает растягивающие напряжения. Совместной работе бетона и стальной арматуры способствуют хорошее сцепление между ними и близость коэффициентов температурного расширения; бетон к тому же защищает арматуру от коррозии.

Железобетонные конструкции изготавливают с обычной и предварительно напряженной арматурой. Основная идея предварительного напряжения железобетонных конструкций заключается в том, что при изготовлении бетон искусственно обжимается. Благодаря этому бетон растягивается только тогда, когда будут преодолены созданные обжатием сжимающие напряжения. Если они превосходят растягивающие напряжения от нагрузки, то можно избежать образования трещин в бетоне. [18]

Предварительно напряженные железобетонные конструкции более эффективны, чем обычные. В них полнее используется несущая способность арматуры и бетона, поэтому уменьшаются сечение и масса изделия.

Железобетонные конструкции подразделяют на сборные и монолитные. Сборные монтируют на строительной площадке из отдельных элементов, изготовленных на заводах и полигонах; монолитные бетонируют на месте строительства.

1.9 Факторы, влияющие на морозостойкость бетона

Проблема долговечности наружных конструкций, для нашего региона, связана, прежде всего, с морозостойкостью бетона, методами ее оценки и способами повышения.

Морозостойкость – это способность насыщенного водой цементного камня (гидратированной массы) в бетоне, сохраняя сплошность, релаксировать давление, возникающее в его поровой структуре в результате фазовых переходов воды при замораживании.

Морозостойкость определяется количеством циклов замораживания и оттаивания материала при потере прочности на сжатие и массы вещества в установленных пределах (допустимые значения по нормативной документации - 5%). По морозостойкости бетон делят на марки F_1 и F_2 , где первый для конструкционного бетона, а второй требования для дорожных бетонов.

Конструкционный бетон, как правило, изготавливают от марки F_{125} до F_{1000} . В Северных регионах рекомендуется использовать бетон для наружных конструкций с морозостойкостью не ниже F_{300} , поскольку для них характерны очень низкие температуры окружающего воздуха.

Существует несколько теорий разрушения бетона под воздействием циклического замораживания-оттаивания. Так, в 1944 году Р. Коллинзом предложена гипотеза, согласно которой разрушение бетона при замораживании происходит вследствие накопления льда внутри его пор, что вызывает давление растущих кристаллов льда на стенки пор бетона. Сформировавшиеся в крупных порах кристаллы льда находятся в контакте с замерзающей водой в окружающих более мелких порах, что обеспечивает их рост параллельно плоскости охлаждения. В результате льдообразования возникают растягивающие напряжения в бетоне, что вызывает послойное его разрушение.[15]

В 1945 году Т. С. Пауэрсом была выдвинута гипотеза гидравлического давления воды. При замораживании водонасыщенного бетона фронт промерзания движется от поверхности вглубь изделия. Замораживание поверхностных слоев бетона приводит к образованию льда в устьях капилляров, в результате чего они закупориваются снаружи ледяными пробками.

Охлаждение более удаленного от поверхности слоя бетона с замерзанием новой порции воды и увеличением при этом ее объема на 9,07 % сопровождается отжатием ещё не замерзшей воды вглубь бетона, в менее водонасыщенную область. Так как перемещение воды встречает сопротивление тонкопористой структуры бетона, то возникает гидравлическое давление, приводящее к возникновению внутренних напряжений в бетоне, последующему его расширению и разрушению. Давление, необходимое для проталкивания воды через тончайшие капилляры, будет расти с уменьшением диаметра и увеличением длины капилляра, а также с повышением скорости замораживания, так как вода из макрокапилляров будет медленно диффундировать через гелевые поры к воздушным пустотам. При медленном охлаждении рост ледяных кристаллов в крупных капиллярах может происходить за счет миграции незамёрзшей в гелевых порах жидкой фаз.

Наличие вовлечённого воздуха в бетоне снижает гидравлическое давление тем больше, чем ближе к опасному капилляру расположены пузырьки воздуха, в которые выдавливаются излишки воды через поры геля. Если воздушные пустоты расположены достаточно близко к очагу образования льда (по Т. С. Пауэрсу не более 0,0254 см), то давление, необходимое для перемещения воды через поры геля, будет меньше предела прочности бетона на растяжение и разрушение бетона не произойдет. Требуемый «фактор расстояния» обеспечивается при содержании не менее 4...6 % вовлечённого воздуха. Положительная роль вовлечённого воздуха отмечается во многих экспериментах.

В работах В. М. Москвина и А. М. Подвального разрушение бетона объясняют влиянием гидравлического давления, напряжений в стенках щелевидных пор и трещин, представляющих в сечении узкий эллипс с соотношением полуосей $a > b$.

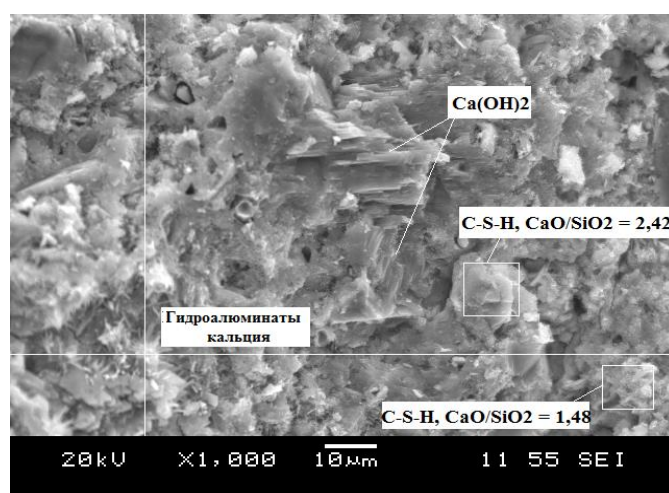
Под влиянием этих внутренних напряжений образуются микротрещины в кристаллических продуктах гидратации цемента, а при быстром охлаждении могут появиться разрывы и в гелевидных структурах. Разрушение бетона в результате постепенного накопления в нем локальных микротрещин, которые,

сливаясь, перерастают в магистральные макротрещины, особенно быстро происходит при заполнении резервных пор водой.

Гипотеза, предложенная П. Н. Каптеревым, затем развитая Г. Г. Еремеевым, заключается в том, что гидростатическое давление развивается в замерзающей зацементированной воде. Образующийся в порах бетона лед блокирует воду, которая не имеет сообщения ни с наружным воздухом, ни с другими порами. При замерзании части зацементированной воды происходит увеличение ее объема, из-за чего в оставшейся воде развивается давление порядка 150...170 МПа. При таких давлениях разрушается оболочка, зацементующая воду и возникает зона трещин в прилегающих слоях бетона. Циклическое замораживание вызывает развитие зоны трещин и снижение прочности бетона.

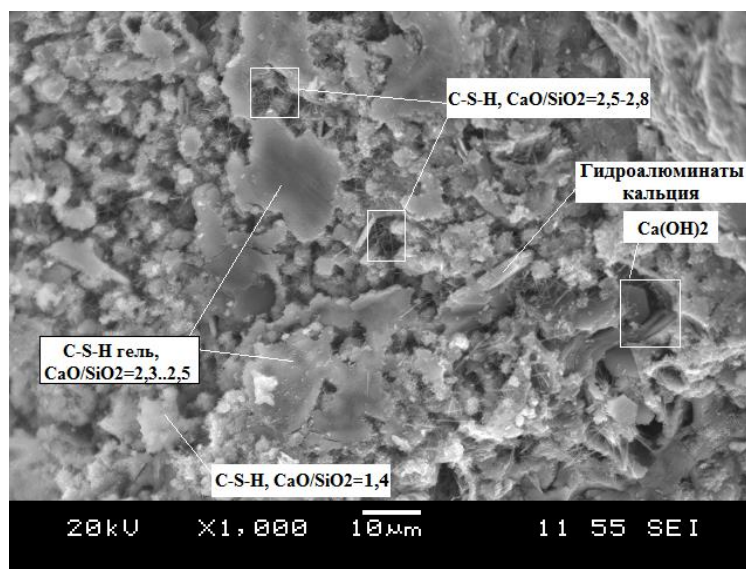
При замораживании и оттаивании бетона в нем помимо термических напряжений и давлений, возникающих под влиянием кристаллизации льда в порах бетона, могут протекать процессы конденсации и испарения влаги.

Изменение структуры цементного камня бетона при циклических замораживании-оттаивании, представлено на рисунке 1. На микрофотографии (рис.3) отмечено изменение структуры, в результате перекристаллизации гидросиликатов происходит увеличение открытого порового пространства, что приведет к дополнительному повышению интенсивности протекания коррозии бетона.



(А – До испытания)

Рисунок 3 – Изменение структуры цементного камня бетона при циклических «замораживании-оттаивании»



(Б – После испытания в солях, 30 циклов)

Рисунок 4 – Изменение структуры цементного камня бетона при циклических «замораживании-оттаивании»

Дополнительными факторами, ускоряющими разрушение бетона при циклическом замораживании-оттаивании, являются:

- различие коэффициентов линейного термического расширения заполнителей, цементного камня и арматуры;
- кристаллизация при охлаждении растворенных в жидкой фазе соединений в виде кристаллогидратов с увеличением объема;
- наличие растягивающих напряжений, превышающих 0,2 предела прочности бетона на растяжение.

По С. В. Шестоперову бетоны будут в том случае высокой морозостойкости, если в них не протекают процессы замерзания, вода или часть ее будет многократно превращаться в лед и вновь переходить в жидкое состояние без деструкции материала. Следовательно, для повышения морозостойкости бетона важно обеспечить его минимальную капиллярную и определённую резервную закрытую пористость и сохранить в виде геля продукты гидратации цемента в процессе циклического замораживания. Последнее обеспечивается введением добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) и активных минеральных добавок (АМД), регулированием режима твердения бетона, видом цемента и другими факторами.

В работах Б.Я.Трофимова отмечено, что на скорость разрушения бетона под воздействием циклических воздействий замораживания-оттаивания, помимо выше перечисленных факторов будет влиять структура гидратных фаз цементного камня - соотношение кристаллических и аморфизированных фаз.

Таким образом, существуют несколько причин разрушения бетона при морозной агрессии:

- увеличение локальных растягивающих напряжений в результате кристаллизации воды и льдообразования;
- гидравлическое давление поровой жидкости, отжимаемой льдом, особенно в порах от 3 до 100 нм;
- выщелачивание $\text{Ca}(\text{OH})_2$, снижение рН поровой жидкости вызывает перекристаллизацию высокоосновных продуктов гидратации, появление внутренних напряжений, трещин и как следствие разрушение бетона;
- кристаллизация новых гидратных образований в процессе циклических изменений температуры, происходит интенсивное «старение» бетона.

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

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

Введение комплекса противоморозных и воздухововлекающих добавок повышает стойкость бетона к циклическому замораживанию и оттаиванию в соответствии с их воздействием на поровую структуру цементного камня. С этим

также связана эффективность комплекса противоморозных добавок с пластифицирующими добавками для снижения водоцементного отношения.

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

Добавка нитрата натрия незначительно повышает морозостойкость бетона. Поташ сильно снижает сопротивление бетона к морозной агрессии (увеличение объема «переходных» пор). Введение совместно с поташом замедлителей схватывания цемента способствует повышению морозостойкости бетона за счет влияния на поровую структуру цементного камня. Для конструкций с высокими требованиями по морозостойкости применение в качестве противоморозной добавки поташа, даже совместно с вышеуказанными или поверхностно-активными веществами не рекомендуется.

1.10 Виды, влияние добавок на бетон и их основные свойства

Для улучшения строительно-технических и технологических свойств бетонов и растворов при производстве бетонных и железобетонных конструкций применяются специальные и комплексные химические добавки различного функционального назначения.

Применение современных методов исследований процессов гидратации и твердения модифицированных цементных систем и внедрение новых технологий в теорию и практику строительного материаловедения позволяют получать материалы с заданными свойствами, управлять процессами гидратации и твердения на всех уровнях формирования структуры композиционных строительных материалов и эффективно внедрять новые ресурсосберегающие технологии в строительное производство. Химические добавки и модификаторы

в этих процессах выполняют одну из основных задач – направленно воздействуют на химические и физические процессы как на молекулярном уровне, так и на стадии формирования макроструктуры цементных материалов.

Наиболее широко в производстве растворов и бетонов применяются пластифицирующие добавки, гипер- и суперпластификаторы, регуляторы схватывания и твердения, воздухововлекающие, поризующие, повышающие долговечность цементных материалов, придающие им специальные свойства, а также комплексные полифункциональные модификаторы. Значительно увеличивается выпуск высокопрочных многокомпонентных бетонов нового поколения, в составе которых наряду с традиционными материалами используются ультрадисперсные и микронаполнители различной химической природы и свойств, позволяющих совместно с гипер- и суперпластификаторами получать высокотехнологичные бетонные смеси с низким водотвердым отношением и высокопрочные бетоны, обладающие уникальными свойствами и высокой долговечностью. Производство химических добавок постепенно выделяется в самостоятельную и интенсивно развивающуюся отрасль промышленности строительных материалов.[19] В настоящее время в России количество модифицированных бетонов составляет 60–70 % от общего выпуска, и, надо полагать, в недалеком будущем многокомпонентные бетоны с полифункциональными химическими добавками, микро- и макронаполнителями станут традиционными.

В соответствии с ГОСТ 24211–2008 добавки для бетонов подразделяются на следующие типы:

Регулирующие свойства бетонных и растворных смесей:

- Пластифицирующие:
- Водоредуцирующие
- Стабилизирующие
- Регулирующие сохраняемость подвижности
- Увеличивающие воздухо- (газо) содержание

Добавки, регулирующие свойства бетонов и растворов:

- Регулирующие кинетику твердения:
- Повышающие прочность
- Снижающие проницаемость
- Повышающие защитные свойства по отношению к стальной арматуре
- Повышающие морозостойкость
- Повышающие коррозионную стойкость
- Расширяющие

Придающие бетонам и растворам специальные свойства:

- Противоморозные – для «холодного» бетона и для «теплого» бетона
- Гидрофобизирующие
- Минеральные добавки
- Активные минеральные добавки

1.10.1 Пластифицирующие добавки

Пластифицирующие добавки В соответствии с ГОСТ 24211–2008 пластифицирующие добавки разделены на 2 подгруппы:

- суперпластифицирующие;
- пластифицирующие.

Пластифицирующие добавки различных классов, и особенно суперпластификаторы, широко применяются в строительстве и позволяют за счет снижения водоцементного отношения при сохранении заданной подвижности бетонной смеси значительно повышать прочность и долговечность изделий.

По современным представлениям механизм диспергирующего и реологического действия СП различных классов на цементно-водные системы обусловлен протеканием следующих физико-химических процессов: 1) адсорбцией молекул СП на поверхности цементных минералов и гидратных новообразований; 2) коллоидно-химическими явлениями предотвращения коагуляции (агрегации) на дальнем и ближнем уровнях; 3) электрокинетическим явлением, определяющим электростатическое отталкивание частиц при изменении потенциала с введением СП.

Пластифицирующие добавки оказывают модернизирующее влияние на морфологию гидратных фаз. В результате адсорбции тормозится рост кристаллов и, следовательно, структура цементного камня становится более дисперсной и плохо закристаллизованной. Сорбируясь на наиболее активных гранях, добавки ПАВ изменяют форму гидратных фаз, они становятся короче и тоньше, изменяется их анизометрия.

Действие суперпластификаторов ограничивается 2...3 ч с момента их введения, и после первоначального замедления процессов гидратации и образования коагуляционной структуры наступает ускорение твердения бетона. Это объясняется тем, что адсорбционный слой добавки на поверхности зерен цемента проницаем для воды, а дефлокулирующее действие ПАВ увеличивает поверхность контакта цемента и воды, что приводит к увеличению степени гидратации и росту числа гидратных новообразований.

В общем случае пластифицирующая и адсорбционная способность разжижителей различных классов определяется рядом факторов, важнейшими из которых являются длина и строение углеводородной цепи и молекулярная масса соединения. С этой точки зрения наиболее перспективными являются пластификаторы линейной структуры, характеризующейся наличием радикалов большей молекулярной массы типа нафталина, меламин, антрацена, фенола и активных функциональных групп типа сульфо-, amino- и карбоксигрупп моно- или поликарбоновых кислот, способных реагировать с цементными минералами и продуктами их гидратации.

Суперпластификаторы в основном являются синтетическими полимерными веществами и имеют высокую стоимость, поэтому их использование в бетонных и растворных смесях должно быть экономически обосновано.

Вместе с тем наряду с широким применением новейших технологий производства бетонных смесей и бетонов с суперпластификаторами уровень использования умеренных и недорогих пластификаторов в строительном производстве не снижается. Комплексные модификаторы на основе лингосульфоната технического (ЛСТ) и других пластификаторов широко

применяются не только в производстве бетонов на основе цементных материалов, но и в составах на основе бесцементных вяжущих, например, шлаковых, карбонатно-шлаковых, глиношлаковых и т.д.

Пластифицирующие добавки, как и гидрофилизирующие, замедляют период начального структурообразования и рост пластической прочности цементных смесей. Система равномерно распределенных пор с гидрофобизированной поверхностью в затвердевшем бетоне снижает капиллярный подсос влаги и тем самым уменьшает проницаемость бетона. В процессе замораживания образовавшиеся поры, подобно контракционным, выполняют роль демпферов: снижают напряжения и деформации, обеспечивая повышенную морозостойкость материала. Поэтому основным экономическим эффектом применения слабопластифицирующих добавок помимо снижения водопотребности бетонных смесей и сокращения расхода цемента является повышение долговечности железобетонных конструкций

1.10.2 Водоредуцирующие добавки

Водоредуцирующие добавки – это вещества, позволяющие получать бетонные и растворные смеси со сниженным расходом воды (водоредуцирующий эффект).

В соответствии с ГОСТ 24211–2008, водоредуцирующие добавки классифицируются на суперводоредуцирующие и редуцирующие.

Суперводоредуцирующие Суперводоредуцирующие добавки – это вещества, позволяющие снижать расход воды на 20 % и более. К этой группе относятся практически все известные супер- и гиперпластификаторы, а также некоторые комплексные модификаторы на их основе («Полипласт», «Суперпласт» и др.) Кроме эффекта водоредуцирования подобные добавки способствуют снижению расслаиваемости и повышению удобоукладываемости бетонных и растворных смесей, снижению проницаемости, повышению прочности, морозостойкости и коррозионной стойкости бетонов, и растворов.

- Водоредуцирующие

Водоредуцирующие добавки – это вещества, снижающие водопотребность бетонных и растворных смесей от 7 до 20 %. К этой группе относятся пластифицирующие добавки и комплексные модификаторы на их основе. В ряде случаев комплексные добавки обладают синергетическим эффектом, т.е. взаимоусиливающим по сравнению с эффектами, достигаемыми при индивидуальном использовании компонентов. Такие эффекты характерны, например, для комплексных смесей на основе пластификаторов и электролитов. Водоредуцирующие добавки также повышают прочность, морозостойкость, солестойкость и коррозионную стойкость бетонов и растворов, но в меньшей степени, чем суперводоредуцирующие добавки.

Добавки стабилизирующие и регулирующие сохраняемость подвижности строительных растворных и бетонных смесей.[21]

В современном строительстве, особенно при возведении зданий и сооружений из монолитного бетона и железобетона, широко используются добавки, способствующие нерасслаиваемости бетонов, сохранению высоких технологических свойств и улучшению перекачиваемости растворных и бетонных смесей. Полимерные добавки обладают способностью обеспечивать улучшение функциональных свойств строительных растворов и бетонов. Применение водорастворимых полимерных добавок позволяет получать технологичные смеси, характеризующиеся высокой пластичностью и водоудерживающей способностью. Эффективность стабилизирующих добавок оценивают по снижению показателей расслаиваемости (раствороотделения и(или) водоотделения) смесей. Механизм действия стабилизирующих и водоудерживающих добавок заключается в изменении свойств поверхности частиц твердой фазы, что приводит к изменению соотношения между связанной и свободной водой. В результате действия добавок, вследствие увеличения количества связанной воды происходит стабилизация цементной системы, способствующая сохраняемости технологических свойств растворных и бетонных смесей. При введении стабилизирующих и водоудерживающих добавок происходит увеличение дисперсности твердой фазы. Это способствует

активации межчастичного взаимодействия, созданию пространственной структурной сетки и снижению водо- и раствооотделения. Механизм стабилизирующего действия полимерных добавок может объясняться особенностями образования водородных связей кислородных атомов добавок с коллоидными частицами цементной матрицы. Молекулы добавки связывают динамически свободную воду, что приводит к повышению вязкости ее в межчастичных зазорах и стабилизации системы

В качестве стабилизирующих и водоудерживающих модификаторов используются следующие группы добавок. 1. Простые и сложные эфиры целлюлозы и их производные анионной и неионногенной природы с различной молекулярной массой: метилцеллюлоза, этилцеллюлоза, метилгидроксипропилцеллюлоза, ацетилфталилцеллюлоза, гидроксиметилцеллюлоза, оксиэтилцеллюлоза, оксибутилметилцеллюлоза, этилоксиэтилцеллюлоза, кар-боксиметилцеллюлоза, натрийзамещенная карбоксиметилцеллюлоза, натрийзамещенная ацетилфталилцеллюлоза.

1.10.3 Добавки, регулирующие кинетику твердения

Добавки – ускорители твердения широко применяются в технологии бетона как индивидуально, так и в составе комплексных модификаторов. В последнем случае ускорители используют для снижения замедляющего действия на кинетику твердения прочность растворов и бетонов пластифицирующих, воздухововлекающих, пенообразующих и других органических добавок. В монолитном строительстве ускоряющие добавки применяют с целью повышения темпов твердения бетона и сокращения сроков его выдерживания перед распалубливанием.

В технологии сборного бетона и железобетона ускорители твердения используют для сокращения сроков предварительного выдерживания и режимов тепловлажностной обработки изделий. Эффективные ускорители позволяют снижать продолжительность ТВО бетона на 20...30 %, а также снижать температуру прогрева до 50...60 °С. В заводских условиях это позволяет

значительно сокращать оборачиваемость форм и в целом металлоемкость производства и энергетические затраты. При рациональном использовании ускоряющих и комплексных добавок, с учетом химико-минералогического состава цемента и оптимально подобранного составов растворов и бетонов, они позволяют снижать расход цементного вяжущего на 10...15 %. Таким образом, применение добавок-ускорителей является эффективным технологическим приемом, позволяющим не только сокращать продолжительность набора бетоном требуемой прочности, но и в целом снижать себестоимость продукции и повышать технико-экономические показатели производства.

Добавки – ускорители твердения широко применяются при производстве бетонных работ в период низких положительных и отрицательных температур с целью обеспечения ухода за бетонной смесью и сокращения времени набора бетоном критической прочности. Применение ускоряющих добавок, особенно из числа низкомолекулярных соединений с низкой температурой замерзания растворов, позволяет выдерживать бетон при температуре ниже расчетной без опасности его размораживания. В суровых климатических условиях применение добавок-ускорителей наиболее эффективно совместно с электропрогревом бетона и бетонированием методом «термоса».

В основу классификации химических добавок по механизму действия положено деление их на четыре класса.

Добавки первого класса (электролиты, изменяющие растворимость вяжущих веществ) повышают или понижают растворимость исходного вяжущего и конечных продуктов его гидратации вследствие изменения ионной силы раствора.

Добавки – ускорители схватывания и твердения применяют в составах цементных растворов и бетонов индивидуально с целью активации начального структурообразования, ускорения твердения и повышения прочности, а также в составе комплексных добавок. Некоторые ускорители твердения используются в качестве противоморозных добавок. Ускорители схватывания и твердения обычно применяют в виде водных растворов рабочей или повышенной

концентрации. Дозировки добавок, ускоряющих схватывание и твердение цементных материалов, как правило, устанавливаются экспериментально по показателям прочности при сжатии бетона или раствора в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Рекомендуемое количество добавок – ускорителей схватывания и твердения бетона и раствора в зависимости от вида цемента и водоцементного отношения приведено ниже. При этом количество ускорителей твердения в зависимости от условий их применения, в том числе и в составе комплексных добавок, не должно превышать 1...3 % от массы цемента. Основным критерием эффективности добавок-ускорителей является увеличение прочности в возрасте 1 суток: а) нормального твердения – на 30 % и более; б) после тепловой обработки – на 20 % и более.

При использовании добавок-ускорителей твердения бетона для сокращения режима тепловой обработки или времени твердения бетона корректировка состава бетона заключается в установлении оптимального количества добавки, определяемого по наибольшему показателю прочности при неизменной подвижности или жесткости смеси. Повышение прочности бетона, подвергающегося тепловой обработке, затем учитывается для сокращения ее продолжительности.

1.10.4 Добавки, повышающие прочность растворов и бетонов

Применение в технологии бетона химических добавок индивидуально и в составе комплексных модификаторов позволяет направленно воздействовать на процессы гидратации и твердения цементных растворов и бетонов и формирование их кристаллизационной и пористой структуры, во многом определяющей прочность и долговечность цементных материалов. В процессе гидратации и твердения происходит заполнение капиллярных пор продуктами гидратации и перераспределение между существующими уровнями гелевых, контракционных, капиллярных и условно замкнутых пор. Изменения параметров пористости цементного камня в условиях постоянной эволюции кристаллизационной структуры в значительной степени определяют прочность и

долговечность растворов и бетонов. Объем гелевых пор, занимающих около 30 % цементного камня в сухом состоянии, вследствие особых свойств и условий их формирования, как с добавками, так и без них, изменяется меньше, чем объем других уровней. Микропоры (микрокапилляры), относящиеся к субмикроскопическому уровню, в наибольшей степени влияют на прочность и долговечность цементных материалов бетона, поскольку в них происходят основные фазовые превращения при гидратации цементных минералов (особенно на ранних стадиях) и осуществляются основные процессы переноса воды и растворов. Капиллярные поры существенно влияют на прочность бетона. При увеличении капиллярной пористости увеличиваются водопоглощение и равновесная влажность, что приводит к повышению теплопроводности и снижению прочности. В качестве добавок, повышающих прочность и микропористость цементных материалов в технологии бетона, применяются ускорители, схватывания и твердения. Ускорители твердения, активируя в цементной системе образование гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, а также двойных и основных солей-гидратов, способствуют тем самым формированию прочной поликристаллической и микропористой структуры, обладающей высокими показателями прочности и долговечности. Для повышения прочности бетонов средних классов и высокопрочных обязательным является применение водоредуцирующих добавок, позволяющих в значительной степени сокращать водоцементное отношение, повышать технологические свойства бетонов и улучшать структуру бетона. Повышение прочности цементных растворов и бетонов может быть достигнуто с помощью активных микронаполнителей а также тонкомолотых минеральных добавок, полученных на основе плотных и прочных гор-ных пород (каменной муки). Эффективность подобных добавок значительно повышается при использовании их совместно с супер- и гиперпластификаторами. Такие добавки позволяют повышать плотность цементных систем и создают условия для сближения частиц вяжущего и микронаполнителя до малых расстояний, при которых возможно формирование прочной кристаллизационной структуры цементных материалов. Известно, что

большинство тонкомолотых минеральных порошков полученных на основе природных материалов в отличие от цементных систем в значительной большей степени подвержены разжижающему влиянию супер- и гиперпластификаторов. Это объясняется тем, что минеральные порошки, являясь инертными по отношению к воде, не проявляют гидравлической активности и, следовательно, не связывают определенное количество воды в гидратные фазы. В смешанных цементно-минеральных системах с тонкомолотыми микронаполнителями в отличие от чисто цементных эффективность суперпластификаторов значительно повышается, вследствие чего создаётся возможность большего снижения водопотребности и повышения прочности. Таким образом, введение в цементные системы тонкомолотых минеральных наполнителей позволяет повышать эффективность применения суперпластификаторов, повышать не только реотехнологические характеристики бетонных и растворных смесей, но также прочность и долговечность растворов и бетонов. Эффективность добавок, повышающих прочность цементных растворов и бетонов, оценивается по критерию повышения прочности в проектном возрасте на 20 % и более по сравнению с контрольными составами.[23]

1.10.5 Добавки, снижающие проницаемость растворов бетонов

К добавкам, снижающим проницаемость бетонов и растворов можно в равной степени отнести индивидуальные и комплексные модификаторы, повышающие прочность. При изготовлении ответственных бетонных и железобетонных конструкций, эксплуатирующихся в средне- и сильноагрессивных средах, для получения плотной структуры и снижения проницаемости бетона применяют кольматирующие (уплотняющие) добавки. Кольматирующие добавки – вещества, способствующие заполнению пор в бетоне водонерастворимыми продуктами. Кольматирующие добавки увеличивают плотность растворов и бетонов, что способствует повышению их долговечности, особенно при эксплуатации в агрессивных условиях органических или неорганических жидких, или газообразных сред. В качестве кольматирующих

добавок в составе бетонов и строительных растворов используются тонкодисперсные минеральные вещества, обладающие гидравлической или пуццоланической активностью, а также водорастворимые добавки.

В соответствии с ГОСТ 24211–2008 Критерием эффективности добавок, снижающих проницаемость растворов и бетонов, является увеличение водонепроницаемости на две марки и более и снижение коэффициента диффузии в 10 раз и более.

1.10.6 Добавки, повышающие защитные свойства по отношению к стальной арматуре

Низкая проницаемость бетона является одним из основных факторов, обеспечивающих защиту арматурной стали от действия агрессивных сред. В тех случаях, когда бетон с низкой проницаемостью не может обеспечить достаточную защиту арматуры, требуется дополнительная защита стали от коррозии, которая может быть достигнута специальной обработкой арматуры либо введением в бетон добавок, замедляющих или предотвращающих коррозионные процессы металла. Добавки – ингибиторы коррозии стали – это вещества, обеспечивающие высокую коррозионную стойкость арматуры в агрессивных по отношению к ней средах. По требованиям надежности они должны обеспечивать значения тока пассивации стали не менее 10 мА/см² и потенциала пассивации стали не менее –450 мВ. Эффективность добавок, увеличивающих защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре, определяют по изменению плотности электрического тока и (или) потенциала стали по методике в соответствии с требованиями ГОСТ 30459–2003. В строительном производстве разработаны и апробированы практикой следующие добавки, повышающие защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре.

Механизм действия добавок – ингибиторов коррозии стали заключается в том, что в их присутствии происходит интенсивное окисление растворимого оксида двухвалентного железа с образованием на поверхности, стали

пассивирующих защитных пленок из гидроксида железа. Постепенно из очагов коррозии исключаются новые участки поверхности стали, и процесс коррозии прекращается. Эффективное замедление коррозии обеспечивается только при достаточном количестве добавки, отвечающем необходимому для данной системы отношению ингибитор – агрессивное вещество. Некоторые добавки – ингибиторы коррозии стали способствуют увеличению подвижности бетонной смеси, снижению диффузионной проницаемости бетона, увеличению электропроводности и морозостойкости бетона. Ингибиторы на основе солей натрия увеличивают защитный потенциал реакции заполнителя со щелочью, особенно если применяются реакционноспособные заполнители. В качестве ингибиторов коррозии стали в составе комплексных добавок могут использоваться химические вещества, способствующие при взаимодействии с металлом образованию хелатных соединений (защитных пленок) на поверхности стальной арматуры бетона, защищающих ее от коррозии.

Использование шлакопортландцементов и высокоалюминатных порландцементов для бетонов с добавками-ингибиторами обеспечивает более высокую коррозионную стойкость стали, чем у бетонов на бездобавочных портландцементов. Критерием эффективности добавок в соответствии с ГОСТ 24211-2008 является: отсутствие коррозии арматуры; плотность тока пассивации стали не более 10 мА/см² при потенциале +300 мВ.

1.10.7 Добавки, повышающие морозостойкость бетона

Одним из основных факторов, определяющих долговечность бетонных и железобетонных конструкций, является морозостойкость. В процессе твердения цементных систем на начальном этапе формирования структуры бетона в цементном тесте образуется система взаимосвязанных капиллярных пор, беспорядочно расположенных по всему объему материала. В процессе гидратации общая капиллярная пористость цементного камня и бетона уменьшается и при достижении определенной степени гидратации система взаимосвязанных капиллярных пор становится условно дискретной, т.е. поры в

цементном камне, находящиеся ранее в виде сообщающихся друг с другом капилляров, оказываются разобщенными цементным гелем, в котором также имеются поры, но значительно меньших размеров. При образовании подобной структуры проницаемость бетона уменьшается. Подобное состояние системы наступает тем раньше, чем ниже начальное водоцементное отношение. Одновременно в бетоне происходит образование пор, заполненных воздухом, которые при определенных условиях могут стать резервными, придающими бетону свойства морозостойкости. В технологии бетона одним из основных вопросов, определяющих высокую морозостойкость бетона, является вопрос об оптимальных параметрах «условно замкнутых пор». Наиболее распространенным способом получения высокой морозостойкости бетонов является нормирование содержания воздуха в бетонной смеси. Оптимальный объем пор, обеспечивающий высокую морозостойкость без существенной потери прочности, должен составлять 2...4 %. С этой целью в состав бетона вводят воздухововлекающие и микрогазообразующие добавки

1.10.8 Добавки, повышающие коррозионную стойкость строительных растворов и бетонов

Химические добавки, снижающие проницаемость растворов и бетонов, могут быть рекомендованы к использованию индивидуально или в составе комплексных для снижения сульфатостойкости и коррозионной стойкости. Водоцементное отношение в значительной степени влияет на проницаемость бетона – с его увеличением возрастает пористость, а, следовательно, и проницаемость.[24] В связи с этим одним из основных технологических приемов повышения коррозиестойкости и сульфатостойкости бетона является применение водопонижающих добавок. Добавки для снижения проницаемости бетона по химическому составу можно разделить на две основные группы: 1) органические; 2) неорганические.

Эффективность добавок, повышающих сульфатостойкость, оценивается по повышению стойкости в условиях сульфатной коррозии (ГОСТ 27677–88).

Гидроксид-ионы, находящиеся в поровом пространстве цементного камня и бетона, могут реагировать с определенными типами кремнезема заполнителей, что ведет к появлению внутренних напряжений, вызывающих расширение или трещинообразование, следствием которых может быть разрушение материала. Необходимым условием протекания щелочносиликатных реакций в цементных бетонах является достаточно высокое содержание оксидов щелочных металлов, реакционной составляющей в заполнителях и доступ воды.

Применение в технологии бетона водоредуцирующих добавок, ускорителей твердения, уплотняющих и повышающих водонепроницаемость, будет являться эффективным для исключения или снижения скорости щелочно-силикатных реакций. Однако использование добавок, повышающих прочность, ускорителей твердения, и особенно противоморозных, применяемых в больших дозировках, таких как NaNO_2 , NaNO_3 , K_2CO_3 , KNO_3 , CH_3COONa и других, содержащих ионы щелочных металлов, должно быть ограничено или исключено, поскольку в их присутствии в связи с обогащением поровой жидкости ионами OH^- увеличивается опасность щелочной коррозии заполнителей.

Лигносульфонаты кальция несколько снижают скорость щелочной коррозии реакционно-активного заполнителя, но ее не предотвращают. Эффективность добавок повышающих коррозионную стойкость оценивается по ГОСТ 24211–2008 по критериям увеличения стойкости бетонов и растворов в коррозионно-активных средах в 1,5 раза и более и стойкости к внутренней коррозии по показателю деформаций расширения не более 0,04 %.

1.10.9 Расширяющие добавки

Основным эффектом действия подобных добавок является регулирование процессов усадки и расширения бетонов и растворов. Усадка бетона относится к одному из неблагоприятных явлений, возникающих при твердении цементных материалов в атмосферных условиях или при недостаточной влажности среды. Общую величину усадки бетона составляют значения влажностной,

контракционной и карбонизационной деформаций, возникающих в процессе твердения и эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций. Величина усадки зависит от вида используемых материалов и условий твердения. Усадочные деформации возрастают при повышенном содержании цемента и воды, при использовании высокоалюминатных цементов, мелкозернистых и пористых заполнителей. Первоначальная усадка уменьшается при снижении количества воды в бетонной смеси и уменьшении количества цементного теста. Поэтому снижение деформаций усадки может быть достигнуто применением водопонижающих (пластифицирующих, супер- и гиперпластификаторов), стабилизирующих и водоудерживающих органических и полимерных добавок, а также минеральных добавок, хорошо удерживающих воду, таких как диатомит, трепел, шлаки и др. Для снижения деформаций пластичной усадки используются газообразующие добавки. При использовании в качестве противоморозных добавок индивидуально или в составе комплексных модификаторов электролитов для снижения усадочных деформаций следует ограничивать количество хлорида кальция и натрия, в присутствии которых усадка возрастает на 5...10 %.

1.10.10 Противоморозные добавки

Твердение цементных бетонов замедляется при снижении температуры окружающей среды и практически прекращается при замерзании жидкой фазы. Поэтому для обеспечения твердения растворов и бетонов в зимних условиях необходимо предотвращать замерзание воды в составе смесей, что может быть достигнуто либо сохранением положительной температуры бетона в период твердения до набора им критической прочности, либо снижением температуры замерзания жидкой фазы путем введения в его состав противоморозных добавок. Для бетона, замороженного в «раннем» возрасте, при последующем твердении в условиях положительных температур степень гидратации цемента и фазовый состав гидратов практически не отличаются от состава гидратных фаз бетона, твердеющего в течение всего времени при положительных температурах, поэтому снижение прочности цементных материалов вследствие раннего

замораживания связано главным образом с изменением их физической структуры. Применение противоморозных добавок осуществляется, как правило, в производстве растворов и бетонов в построечных условиях, при возведении монолитных или сборно-монолитных бетонных и железобетонных сооружений, при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций в условиях полигонов при установившейся среднесуточной температуре наружного воздуха и грунта не ниже 5 °С и минимальной суточной температуре ниже 0 °С. В ранний период гидратации количество воды, вступающей в химическое взаимодействие с цементом, мало и большая ее часть замерзает при температуре, близкой к 0°С. Коагуляционная структура цементной матрицы на этом этапе не способна воспринимать внутренние напряжения, связанные с процессами льдообразования, вследствие чего происходит ее разуплотнение и нарушение внутреннего сцепления между отдельными составляющими. Бетон, подвергнутый замораживанию в раннем возрасте, до набора им критической прочности, при последующем оттаивании и твердении имеет разуплотненную структуру и характеризуется меньшими показателями прочности и долговечности. При замерзании объем воды увеличивается и это вызывает в замораживаемой бетонной смеси или бетоне малой прочности образование ледяных прослоек и контактов между цементной матрицей, заполнителем и арматурой. Многократное замораживание и оттаивание еще в большей степени нарушает структуру бетона и приводит к снижению прочности. Нарушения в структуре бетона, замороженного в «раннем» возрасте, зависят от температурных условий. При более низкой температуре образуется больше мелких кристаллов льда и после оттаивания в структуре материала наблюдается множество мелких пор. При быстром замораживании вода не успевает мигрировать к фронту охлаждения, поэтому на поверхности бетона не происходит образование крупных ледяных включений. Установлено, что замораживание бетона при температурах, близких к 0°С, в большей степени отражается на снижении прочности и морозостойкости, чем при более низких отрицательных температурах. Предварительное выдерживание бетона при

положительной температуре до набора им критической прочности снижает опасность негативного влияния отрицательных температур на прочность и долговечность бетонных и железобетонных конструкций.

Структура бетона с противоморозными добавками, формирующими первичный структурный каркас, характеризуется более высокими механическими показателями, плотнее, менее водонепроницаема и обладает большей морозостойкостью.

1.10.11 Гидрофобизирующие добавки

Гидрофобизирующие добавки – это вещества, придающие растворам и бетонам водоотталкивающие свойства за счет гидрофобизации стенок пор и капилляров в структуре цементных растворов и бетонов. Основным признаком гидрофобизирующих добавок является резкая асимметрия их молекул, при которой обеспечивается дифильность. Гидрофобизирующие добавки обладают рядом общих с гидрофилизующими добавками свойств. Это обусловлено близостью строения углеводородной части молекул. Так, например, гидрофобизирующие добавки обладают пластифицирующим действием. Однако этот эффект меньше, чем при использовании пластифицирующих ПАВ, и имеет второстепенное значение. Некоторые гидрофилизующие добавки увеличивают воздухововлечение хотя и в меньшей степени гидрофобизирующие, поэтому этот признак не может считаться основным для гидрофилизующих добавок. К гидрофобизирующим добавкам принадлежат многие органические вещества с резкой асимметрией в строении молекул. Гидрофобизаторы вводятся в бетонные и растворные смеси с целью: 1) уменьшения смачивания стенок пор и капилляров, а также поверхности бетонных и железобетонных изделий; 2) воздухововлечения или газообразования с гидрофобизацией образующихся пузырьков воздуха; 3) повышения пластичности бетонных смесей за счет воздухововлечения. Вовлечение в бетонную смесь углеводородной составляющей молекулы гидрофобизирующих ПАВ неполярных пузырьков воздуха и их диспергирование вследствие понижения работы разрушения и

стабилизации пузырьков в объеме цементного теста способствует не только пластификации бетонной смеси, но формированию равномерно распределенных объеме бетона «условно-замкнутых пор» обеспечивающих морозостойкость бетона за счет гидрофобизации пор и капилляров подобные добавки улучшают солестойкость (сульфатостойкость) изделий и снижают высолообразование.[13] Основными эффектами введения гидрофобизирующих добавок являются значительные ухудшения смачиваемости цемента водой (гидрофобные цементы), гидрофобизации бетона, вследствие чего снижается скорость капиллярного подсоса в него влаги, что благоприятно влияет на его долговечность. Некоторые гидрофобизирующие добавки вызывают кольматацию пор и капилляров с уменьшением их сечения.

1.11 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.

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.

ВЫВОДЫ ПО ЛИТЕРАТУРНОМУ ОБЗОРУ

1. Бетон является основным конструкционным материалом и будет таковым оставаться ближайшие десятилетия. За последнее время технология бетона претерпела множество изменений, появились новые активные добавки и наполнители, эффективные вяжущие вещества, модификаторы, армирующие волокна и т.д. Всё это содействовало созданию новых видов бетона, которых в современном строительстве используется более тысячи.
2. В настоящее время особое значение приобретают повышение качества бетона, совершенствование технологий его производства, увеличение производительности. С каждым годом увеличивается ассортимент бетонов, расширяются области его применения, предъявляемые к ним требования, сырьевая база производства. В связи с этим вопросы, связанные с видами бетона, их свойствами, правилами приготовления бетонных смесей, характером бетонных работ при строительстве различного рода объектов, являются актуальными.
3. Исследования конструкций из бетона и железобетона подтверждают, что бетон около 80% всех сооружений, несущих конструкций и покрытий подвержен морозной деструкции, воздействию агрессивных сред, солевых растворов и реагентов. Из-за этих факторов сооружения из бетона, работающие в таких условиях разрушаются еще до окончания срока их эксплуатации. Таким образом, проблема применения бетона, устойчивого к циклическим перепадам температуры и солевому воздействию, является актуальной.

2 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

В 2019 году ОАО «Сургутнефтегаз» обратилась в ООО «УралНИИСтром» с целью обследования и выявления причин разрушения бетона строительных конструкций, находящихся в Республике Саха (Якутия), Ленское месторождение.

После изучения технической документации, представленной ОАО «Сургутнефтегаз», визуально-инструментального обследования покрытий бетона, проведения испытаний по определению фактической прочности бетона прямыми неразрушающими методами, лабораторных испытаний образцов-кубов бетона, образцов изготовленных из кернов, отобранных из конструкций, а также испытаний всех инертных материалов, и изучения составов бетона, были сделаны следующие выводы:

- Состав бетона был подобран без использования добавок-модификаторов;
- Фактический класс бетона по прочности на сжатие не соответствует проектному классу бетона;
- Фактическая марка бетона по морозостойкости не соответствует проектной марке;

Таким образом, специалистами ООО «УралНИИСтром» были подобраны составы тяжелого бетона разных классов по прочности на сжатие, которые имеют более высокие характеристики по морозостойкости и прочности на сжатие.

Целью моей выпускной квалификационной работы было сравнение составов тяжелого бетона, используемых при строительстве на Ленском месторождении и составов тяжелого бетона, подобранных специалистами ООО «УралНИИСтром», чтобы изучить, как влияет модификатор ПФМ-НЛК на технические характеристики бетона, чтобы в будущем непосредственно принять участие в техническом надзоре и лабораторном контроле при изготовлении бетонной смеси на БРУ Ленского нефтегазоконденсатном месторождении и строительстве бетонных монолитных конструкций.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) Изучение понятия «бетон» и его видов;
- 2) Изучение способов получения бетона и приготовления бетонных смесей;
- 3) Изучение нормативных документов, регламентирующих контроль качества бетона и его смесей;
- 4) Испытание инертных материалы на соответствие требованиям ГОСТ и пригодность в использовании в качестве заполнителей для бетонной смеси.
- 5) Изготовление образцов-кубов контрольных и основных составов для определения прочности при сжатии на 7 и 28 суток.
- 6) Изготовление образцов-кубов контрольных и основных составов для определения марки по морозостойкости.
- 7) Оценка эффективности действия комплексной добавки на технические характеристики тяжелого бетона.

3 ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1 Инертные материалы

3.1.1 Песок Пеледуйский песчаный карьер, п. Пеледуй, Республика Саха (Якутия).

3.1.2 Щебень смеси фракций св. 5 до 20 мм, Барзасский карьер, п. Барзасс, Кемеровская область.

3.2 Вяжущее вещество

3.2.1 Цемент ЦЕМ I 42,5Н, «Новотроицкий цементный завод», г. Новотроицк, Оренбургская область.

Цемент ЦЕМ I 42,5Н, – строительный материал, который изготавливается из чистого клинкера и соответствует требованиям по ГОСТу 31108-2003. В составе портландцемента отсутствуют какие-либо синтетические добавки, но преобладают силикаты кальция

Основные свойства ЦЕМ I 42,5Н по ГОСТу:

Прочность на изгиб – 6-6.4 МПа;

Прочность на сжатие – 49 МПа;

Нагрузка на сжатие – 500 кг/см²;

Морозостойкость – F70;

Высокий уровень водоотталкивающих свойств;

Скорость схватывания – от 45 минут до 10 часов (зависит от температуры окружающей среды);

Плотность насыпная – 1100-1600 кг/м³;

Истинная плотность – 3100 кг/м³;

Тонкость помола – 92%;

Цвет – серый.

3.3 Модификатор – Полифункциональный модификатор ПФМ-НЛК

Воздействуя на процессы формирования структуры бетонной смеси, модификаторы изменяют реологические свойства цементной системы, способствуют сокращению ее водопотребности, что в дальнейшем отражается на параметрах кристаллизационной структуры и, как следствие, на долговечности бетона. По своим потребительским свойствам «ПФМ-НЛК» соответствует ГОСТ 24211-2003 для пластифицирующих – водоредуцирующих (класс суперпластификаторов) и повышающих морозостойкость добавок и представляет собой смесь натриевых солей полиметиленафталинсульфокислот различной молекулярной массы с добавлением воздухововлекающего и гидрофобизирующего компонента ГКЖ 11. Наличие этих компонентов позволяет получать бетоны с высокими результатами по морозостойкости и водонепроницаемости. Согласно техническим условиям добавка «ПФМ-НЛК» предназначена для использования в тяжелых бетонах с целью получения бетона высокой морозостойкости из подвижных или растекающихся смесей. Добавку рекомендуется применять при производстве ненапрягаемых и предварительно напряженных сборных и монолитных бетонных и железобетонных изделий и конструкций в зданиях и сооружениях различного назначения: промышленных, гражданских, гидротехнических, мостовых, дорожных и аэродромных, эксплуатирующихся в сложных условиях внешней среды (циклическое увлажнение и высушивание, замораживание и оттаивание и т.п.). Модификатор «ПФМ-НЛК» разрешено применять также в бетонах для транспортных сооружений (Заключение ЦНИИС по применению добавки «ПФМ-НЛК» для конструкций транспортного строительства) и в производстве дорожных бетонов (Заключение ФГУП РОСДОРНИИ по применению добавки «ПФМ-НЛК» в дорожных бетонах).

Добавка «ПФМ-НЛК» не нарушает пассивного состояния стальной арматуры в бетоне (Заключение НИИЖБ о влиянии добавки «ПФМ-НЛК» на защитные свойства бетона по отношению к стальной арматуре).

Рекомендуемый диапазон дозировок добавки «ПФМ-НЛК» составляет 0,4...0,8%, при использовании в качестве водоредуцирующей добавки 0,7...0,8% в пересчете на сухое вещество.

Дозирование добавки должно осуществляться с точностью $\pm 2\%$ от расчетного количества. При длительном хранении а так же при использовании больших объемов добавки емкости с раствором рекомендуется периодически барботировать сжатым воздухом.

Введение добавки «ПФМ НЛК» в жидком виде в состав бетонной смеси возможно производить:

- вместе с расчетным (на замес) количеством воды затворения;
- в предварительно перемешанную бетонную смесь с частью (10...20%) воды затворения незадолго до окончания перемешивания. Этот способ позволяет получить большой пластифицирующий эффект;
- дробно при обеспечении строгого контроля за количеством вводимой добавки на месте укладки. Такой способ позволяет увеличить время сохранения подвижности бетонной смеси.

Возможно введение добавки «ПФМ-НЛК» в состав бетонной смеси в порошкообразном виде, которое осуществляется совместно с сухими составляющими при условии их тщательного совместного перемешивания.

При производстве бетонной смеси следует обеспечивать равномерность распределения добавки в соответствии с нормативными требованиями.

Добавка «ПФМ-НЛК» в форме водного раствора должна храниться в закрытых емкостях при температуре не ниже плюс 10 °С. При случайном охлаждении (замерзании) добавка не снижает своих качественных показателей, перед применением водный раствор должен быть отогрет до температуры выше плюс 10 °С, тщательно перемешан до полного растворения осадка и усреднен. Добавка в форме порошка должна храниться в неповрежденной упаковке изготовителя на поддонах в закрытых складских помещениях.

Гарантийный срок хранения добавки «ПФМ-НЛК» в сухом и жидком виде – в течение 1 года от даты изготовления.

По истечении гарантийного срока добавка «ПФМ-НЛК» должна быть испытана по всем нормируемым показателям качества и, в случае соответствия требованиям действующих ТУ, может быть использована в производстве.

3.3 Вода затворения

3.3.1 Проба воды, отобранная из емкости для хранения воды, расположенной на БРУ Ленского НГКМ

4 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1 Испытания песка на соответствие требованиям ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия», ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».

Методика проведения испытаний – ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний»

4.1.1 Оборудование и средства измерений: Шкаф сушильный, весы электронные AND HV-15 KGL, сита с круглыми отверстиями диаметром 10; 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 0,16 и 0,05 мм, игла стальная, лупа минералогическая, сосуд для отмучивания песка.

4.1.2 Определение зернового состава

Зерновой состав определяют путем отсева 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 (Γ_{p5}) и св. 10 мм (Γ_{p10}) в процентах по массе по формулам[8]:

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

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

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

M_5 – остаток на сите с круглыми отверстиями диаметром 5 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, %.

4.2 Испытания щебня на соответствие требованиям ГОСТ 8267-93

«Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ.

Технические условия», ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые.

Технические условия».

Методика проведения испытаний ГОСТ 8269.0-97 «Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

4.2.1 Оборудование и средства измерений:

Шкаф сушильный, весы электронные AND HV-15 KGL, сита с круглыми отверстиями диаметром 25; 20; 12,5; 5; 2,5; 1,25 и 0,05 мм, сосуд для отмучивания, штангенциркуль, цилиндры мерные объемом 5 и 10 л; цилиндры стальные диаметром 75 и 150 мм, пресс испытательный.

4.2.2 Определение зернового состава

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 устанавливают 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).

Обработка результатов

По результатам просеивания определяют частный остаток на каждом сите a_i , %, по формуле

$$a_i = \frac{m_i}{m} * 100 \quad (6)$$

где m_i – масса остатка на данном сите, г;

m – масса просеиваемой навески, г;

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

Примечание - после отсева пробу вновь объединяют и используют для приготовления аналитических проб для проведения остальных испытаний. При испытании гравия, загрязненного глиной, сев производят после предварительной промывки с определением содержания пылевидных и глинистых частиц по 4.5. Содержание пылевидных и глинистых частиц включают при расчете результатов отсева в массу частиц, проходящих через сито с размером отверстий 1,25 мм.

4.2.3 Определение содержания глины в комках

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

Аналитические пробы щебня (гравия) готовят путем рассева 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

4.2.4 Определение дробимости

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 прессы.

Увеличивая силу нажатия прессы 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

4.3 Испытание пробы воды, отобранной из емкости для воды на БРУ Ленского НГКМ на соответствие требованиям п.4.8. ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».

Методика проведения испытаний – ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов», ГОСТ 4389 «Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов», ГОСТ 23268.6-78 «Воды минеральные

питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов натрия», ГОСТ 23268.7-78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов калия», ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия», ГОСТ 18164 «Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка».

4.3.1 Оборудование для проведения испытаний

Весы лабораторные электронные, Ра 214С; Электропечь сопротивления SNOL 67/350; Электропечь СНОЛ-1,6.2,5.1/9, Спектрофотометр ПЭ-5300ВИ, Фотометр пламенный автоматический, ФПВА-2-01, Иономер лабораторный И-160 МИ, Электрод сравнения ЭСр-10103-3,5, Электрод стеклянный ЭС-10603/7 (к 80,7)

4.4 Испытание комплексной добавки на эффективность действия

4.4.1 Испытание пластифицирующей добавки, регулирующей свойства бетонной смеси

Эффективность действия пластифицирующих добавок оценивают по увеличению подвижности смеси и по прочности бетона или раствора при одинаковом водоцементном отношении контрольного и основных составов.

Контрольный состав бетонной смеси должен иметь подвижность, соответствующую ОК = 2-4 см

Из смесей контрольного и основных составов отбирают пробы в соответствии с 7.5.3 для определения их подвижности и изготовления образцов для определения прочности контрольного $R_{контр}$ и основных $R_{осн}$ составов:

- бетона или раствора, твердеющего в нормальных условиях при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(95 \pm 5)\%$, в возрасте 3 и 28 сут;

- пропаренного бетона - через 4 ч после твердения в условиях тепловлажностной обработки и через 27 сут последующего твердения в

нормальных условиях. Тепловлажностную обработку следует проводить по режиму 3+3+6+2 ч при температуре изотермической выдержки 80 °С (где 3 ч - время предварительной выдержки по 4.5; 3 ч - время подъема температуры; 6 ч - время изотермической выдержки; 2 ч - время снижения температуры).

Изменение прочности бетона ΔR , %, для каждого возраста и условий твердения рассчитывают по формуле

$$\Delta R = \left| \frac{R_t^{\text{контр}} - R_t^{\text{осн}}}{R_t^{\text{контр}}} \right| 100, \quad (7)$$

где $R^{\text{контр}}$ и $R^{\text{осн}}$ - прочность бетона или раствора контрольного и основных составов, МПа

t - возраст бетона или раствора нормального твердения (через 3 и 28 сут) и (или) ускоренного твердения (через 4 ч после тепловлажностной обработки и через 28 сут).

4.4.2 Испытание добавки, повышающей морозостойкость

Эффективность действия добавок, повышающих морозостойкость бетонов и растворов, оценивают по увеличению марки по морозостойкости бетонов основных составов по сравнению с контрольным составом.

Общие условия испытания на морозостойкость должны соответствовать требованиям ГОСТ 10060.0, раздел 4, и ГОСТ 10060.2, раздел 6, - для бетонов.

Смеси контрольного и основных составов должны иметь марку по удобоукладываемости ПЗ - для бетонных смесей

Образцы для испытаний контрольного и основных составов изготавливают и хранят по ГОСТ 10180 - для бетонов. Число образцов контрольного состава - на шесть сроков испытания, основных составов - на восемь сроков испытания.

Образцы бетона должны соответствовать требованиям ГОСТ 10060.0, пункт 4.9, метод предварительного насыщения образцов 5%-ным раствором хлористого кальция - пункт 4.11 указанного стандарта.

Образцы бетонов контрольного и основных составов (по одной серии от каждого состава) после их насыщения испытывают на сжатие по ГОСТ 10180.

Оставшиеся образцы подвергают испытанию на морозостойкость: бетонов - ускоренным методом при многократном замораживании и оттаивании по ГОСТ 10060.0 (третий метод).

Прочность при сжатии контрольного и основных составов определяют после каждого числа циклов, указанного в ГОСТ 10060.0, таблица 3, - для бетонов.

После определения марки по морозостойкости бетона контрольного состава его испытание прекращают, а бетоны основных составов продолжают испытывать в течение числа циклов, соответствующих увеличению их морозостойкости на две марки по сравнению с контрольным составом, после чего образцы испытывают на прочность при сжатии.

Снижение прочности при сжатии образцов бетонов контрольного и основных составов после испытания на морозостойкость не должно превышать 5% по сравнению с прочностью на сжатие образцов перед их установкой на испытание.

5 ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

5.1 Результаты испытаний инертных материалов и воды

5.1.1 Результаты испытаний пробы песка природного, производство «Пеледуйский» карьер

Таблица 1 – 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	2,81	5,29	35,07	36,94	11,16	8,73
	Полные	2,81	8,10	43,17	80,11	91,27	100,00

Таблица 2 – Результаты определения характеристик пробы песка

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативное значение	Фактические значения	Соответствие характеристикам требованиям нормативной документации
Модуль крупности	-	Для группы песка – средний: Св. 2,0 до 2,5	2,26	Соответствует группе песка – средний
Полный остаток на сите № 063, %	%	Для группы песка – средний: Св. 30 до 45 Допускается для II класса до 50	43,17	Соответствует
Содержание зерен крупностью св. 10 мм		Для II класса группы песка – средний: не более 5	2,47	Соответствует
Содержание зерен крупностью св. 5 мм	%	Для II класса группы песка – средний: не более 15	6,32	Соответствует
Содержание зерен крупностью менее 0,16 мм		Для II класса группы песка – средний: не более 15	8,73	Соответствует
Содержание глины в комках		Для II класса группы песка – средний: не более 0,5	0,24	Соответствует

По испытанным показателям проба песка соответствует требованиям ГОСТ 8736-2014, относится ко II классу, группа песка - средний. 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.

Таблица 3 – Результаты определения характеристик пробы щебня

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике Нормативное значение	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактическое значения	Соответствие характеристике требованиям нормативной документации
Полный остаток на сите 25,0 мм	% по массе	До 0,5	ГОСТ 8269.0-97 п.4.3	0,0	Соответствует
Полный остаток на сите 20,0 мм		До 10		8,36	
Полный остаток на сите 12,5 мм		От 30 до 60 Допускается до 80		62,03	
Полный остаток на сите 5,0 мм		От 90 до 100		99,17	
Полный остаток на сите 2,5 мм		От 95 до 100		99,43	
Марка по дробимости (потеря массы при испытании)	-	Для изверженных интрузивных пород марки 1000 Св. 16 до 20 включ..	ГОСТ 8269.0-97 п.4.8	17,17	Соответствует марке 1000
Содержание пылевидных и глинистых частиц		Для изверженных интрузивных пород марки 1000 Не более 1			

По испытанным показателям проба щебня соответствует ГОСТ 8267-93. 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 пробы воды

Таблица 4 – Химический состав пробы

Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения
Наличие следов нефтепродуктов	-	ГОСТ 23732 п.6.3.2	отсутствуют
Содержание хлор-иона (Cl ⁻)	мг/дм ³	ГОСТ 4245-72 п.2	30,42
Содержание сульфатов (SO ₄ ²⁻)		ГОСТ 4389	84,1
Содержание взвешенных частиц		ГОСТ 23732 п.6.7	0,55
Содержание сухого остатка		ГОСТ 18164	15,86
Массовая концентрация ионов натрия		ГОСТ 23268.7-78 п.3	27,1
Массовая концентрация ионов калия		ГОСТ 23268.6-78 п.4	12,5
Водородный показатель pH		ед. pH	ГОСТ 23732-2011 п.6.6

По испытанным показателям проба воды соответствует требованиям ГОСТ 26633-2015

5.2 Подборы составов тяжелого бетона различных классов по прочности на сжатие

Таблица 5 – Состав тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В15 без модификатора

Проектный класс бетона	Расход материалов, в кг на 1 м ³ бетона			
	Цемент ЦЕМ I 42,5Н, «Новотроицкий цементный завод»	Песок, Пеледуйский песчаный карьер	Щебень смеси фракций св. 5 до 20 мм	Вода
В15	350	1030	900	210

Таблица 6 – Состав тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В15 с модификатором

Проектный класс бетона	Расход материалов, в кг на 1 м ³ бетона				
	Цемент ЦЕМ I 42,5Н, «Новотроицкий цементный завод»	Песок, Пеледуйский песчаный карьер	Щебень смеси фракций св. 5 до 20 мм	Модификатор ПФМ-НЛК	Вода
V15	350	1030	900	2,1	175

Таблица 7 – Состав тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В20 без модификатора

Проектный класс бетона	Расход материалов, в кг на 1 м ³ бетона			
	Цемент ЦЕМ I 42,5Н, «Новотроицкий цементный завод»	Песок, Пеледуйский песчаный карьер	Щебень смеси фракций св. 5 до 20 мм	Вода
V20	400	990	900	240

Таблица 8 – Состав тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В20 с модификатором

Проектный класс бетона	Расход материалов, в кг на 1 м ³ бетона				
	Цемент ЦЕМ I 42,5Н, «Новотроицкий цементный завод»	Песок, Пеледуйский песчаный карьер	Щебень смеси фракций св. 5 до 20 мм	Модификатор ПФМ-НЛК	Вода
V20	400	990	900	2,4	175

Таблица 9 – Состав тяжелого бетона класса по прочности на сжатие V25 без модификатора

Проектный класс бетона	Расход материалов, в кг на 1 м ³ бетона			
	Цемент ЦЕМ I 42,5Н, «Новотроицкий цементный завод»	Песок, Пеледуйский песчаный карьер	Щебень смеси фракций св. 5 до 20 мм	Вода
V25	450	940	900	270

Таблица 10 – Состав тяжелого бетона класса по прочности на сжатие V25 с модификатором

Проектный класс бетона	Расход материалов, в кг на 1 м ³ бетона				
	Цемент ЦЕМ I 42,5Н, «Новотроицкий цементный завод»	Песок, Пеледуйский песчаный карьер	Щебень смеси фракций св. 5 до 20 мм	Модификатор ПФМ-НЛК	Вода
V25	450	940	900	2,7	175

Таблица 11 – Состав тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В30 без модификатора

Проектный класс бетона	Расход материалов, в кг на 1 м ³ бетона			
	Цемент ЦЕМ I 42,5Н, «Новотроицкий цементный завод»	Песок, Пеледуйский песчаный карьер	Щебень смеси фракций св. 5 до 20 мм	Вода
V30	500	900	900	300

Таблица 12 – Состав тяжелого бетона класса по прочности на сжатие В30 с модификатором

Проектный класс бетона	Расход материалов, в кг на 1 м ³ бетона				
	Цемент ЦЕМ I 42,5Н, «Новотроицкий цементный завод»	Песок, Пеледуйский песчаный карьер	Щебень смеси фракций св. 5 до 20 мм	Модификатор ПФМ-НЛК	Вода
V30	500	900	900	3,0	175

Во всех рассмотренных составах при изготовлении бетонной смеси осадка конуса равна ОК = 14...15 см, что соответствует марке по удобоукладываемости ПЗ. Водоцементное отношение В/Ц соблюдено для составов с добавкой – В/Ц = 0,5, для бездобавочных составов – В/Ц = 0,6.

Для оценки влияния химической добавки на технические свойства бетона были изготовлены опытные образцы - бетонные кубики размером 100x100x100 мм по всем заданным составам. Твердение бетона – естественное, образцы хранились в камере нормального твердения.

5.3 Результаты испытаний образцов бетона на прочность при сжатии и морозостойкость

5.3.1 Результаты испытаний образцов бетона на прочность при сжатии в промежуточном возрасте 7 суток

Таблица 13 – Результаты испытаний образцов бетона класса В15 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	12,9	13,0
				13,1	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	13,4	13,5
				13,6	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 7 суток 13,25 МПа, что составляет 69% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 14 – Результаты испытаний образцов бетона класса В15 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	13,6	13,8
				13,9	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	13,5	13,8
				14,1	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 7 суток 13,8 МПа, что составляет 72% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 15 – Результаты испытаний образцов бетона класса В20 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	17,9	18,0
				18,1	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	17,4	17,6
				17,7	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 7 суток 17,8 МПа, что составляет 70% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 16 – Результаты испытаний образцов бетона класса В20 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	17,4	17,4
				17,3	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	17,8	17,5
				17,2	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 7 суток 17,45 МПа, что составляет 68% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 17 – Результаты испытаний образцов бетона класса В25 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	22,3	22,4
				22,4	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	21,8	22,5
				23,1	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 7 суток 22,45 МПа, что составляет 70% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 18 – Результаты испытаний образцов бетона класса В25 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	22,5	22,3
				22,1	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	22,3	22,5
				22,6	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 7 суток 22,4 МПа, что составляет 70% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 19 – Результаты испытаний образцов бетона класса В30 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	26,9	26,7
				26,4	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	26,7	26,8
				26,8	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 7 суток 26,75 МПа, что составляет 70% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 20 – Результаты испытаний образцов бетона класса В30 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	25,4	25,5
				25,6	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	26,1	26,2
				26,2	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 7 суток 25,85 МПа, что составляет 67% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таким образом можно сделать вывод о том, что наличие модификатора в составе бетона не влияет на прочность бетона в промежуточном возрасте, а расхождения результатов, вероятно, погрешность при расчетах.

5.3.2 Результаты испытаний образцов бетона на прочность при сжатии в проектном возрасте 28 суток

Таблица 21 – Результаты испытаний образцов бетона класса В15 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	19,3	19,4
				19,5	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	19,6	19,5
				19,4	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 28 суток 19,45 МПа, что составляет 101% требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 22 – Результаты испытаний образцов бетона класса В15 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	23,4	23,1
				22,8	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	23,6	23,8
				23,9	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 28 суток 23,45 МПа, что составляет 122% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 23 – Результаты испытаний образцов бетона класса В20 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	25,7	25,4
				25,1	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	26,2	25,8
				25,4	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 28 суток 25,6 МПа, что составляет 100% требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 24 – Результаты испытаний образцов бетона класса В20 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	31,3	31,1
				30,8	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	32,1	31,8
				31,4	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 28 суток 31,45 МПа, что составляет 123% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 25 – Результаты испытаний образцов бетона класса В25 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	32,1	32,2
				32,3	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	32,4	32,1
				31,7	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 28 суток 32,15 МПа, что составляет 100% требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 26 – Результаты испытаний образцов бетона класса В25 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	41,3	40,4
				39,4	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	38,9	39,7
				40,5	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 28 суток 40,05 МПа, что составляет 125% от требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 27 – Результаты испытаний образцов бетона класса В30 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	38,6	39,0
				39,3	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	38,4	38,9
				39,4	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 28 суток 38,95 МПа, что составляет 101% требуемой прочности в проектном возрасте.

Таблица 28 – Результаты испытаний образцов бетона класса В30 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Нормативный документ на метод испытания (раздел, пункт)	Фактические значения	
				Прочность образца	Прочность бетона в серии образцов
Бетонные образцы-кубы, 1 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	47,3	47,9
				48,5	
Бетонные образцы-кубы, 2 серия	Прочность на сжатие	МПа	ГОСТ 10180-2012, п.7.2	48,4	48,6
				48,7	

Прочность бетона определена по двум сериям образцов в соответствии с требованиями п. 5 ГОСТ 18105-2010 и составляет в проектном возрасте 28 суток 48,25 МПа, что составляет 126% от требуемой прочности в проектном возрасте.

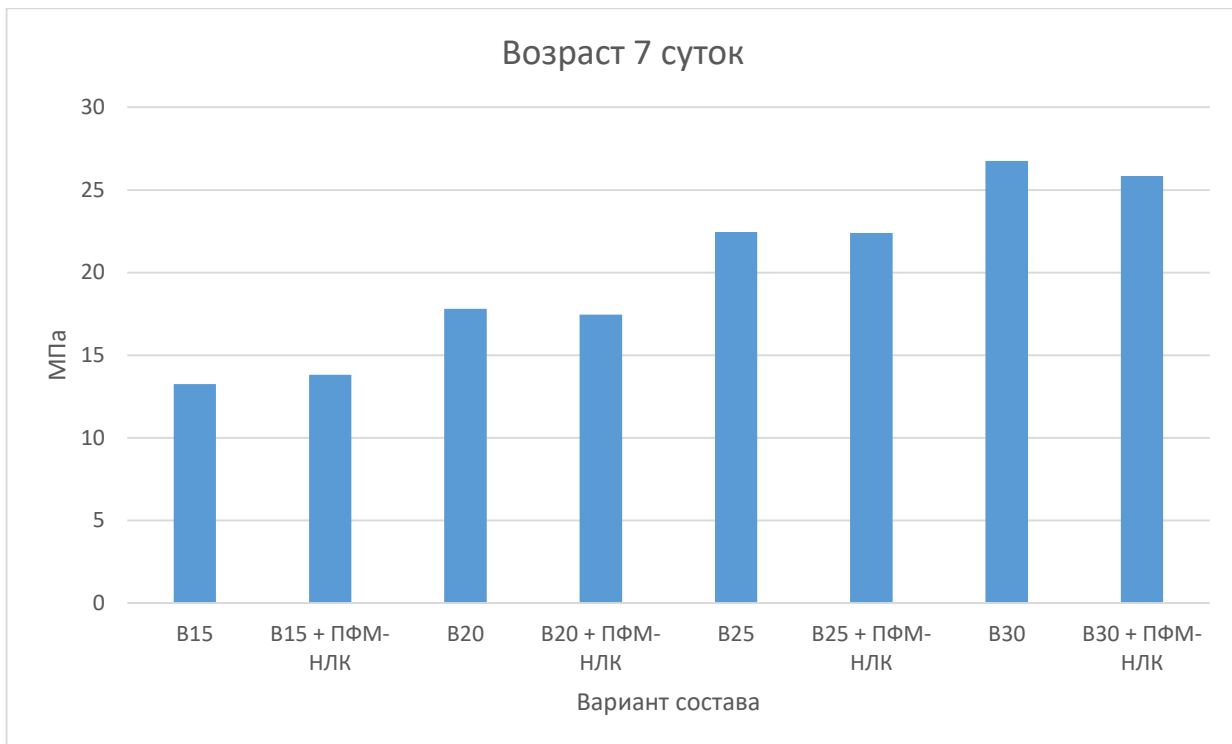


Рисунок 5 – Гистограмма по результатам испытаний образцов с добавкой и без в возрасте 7 суток

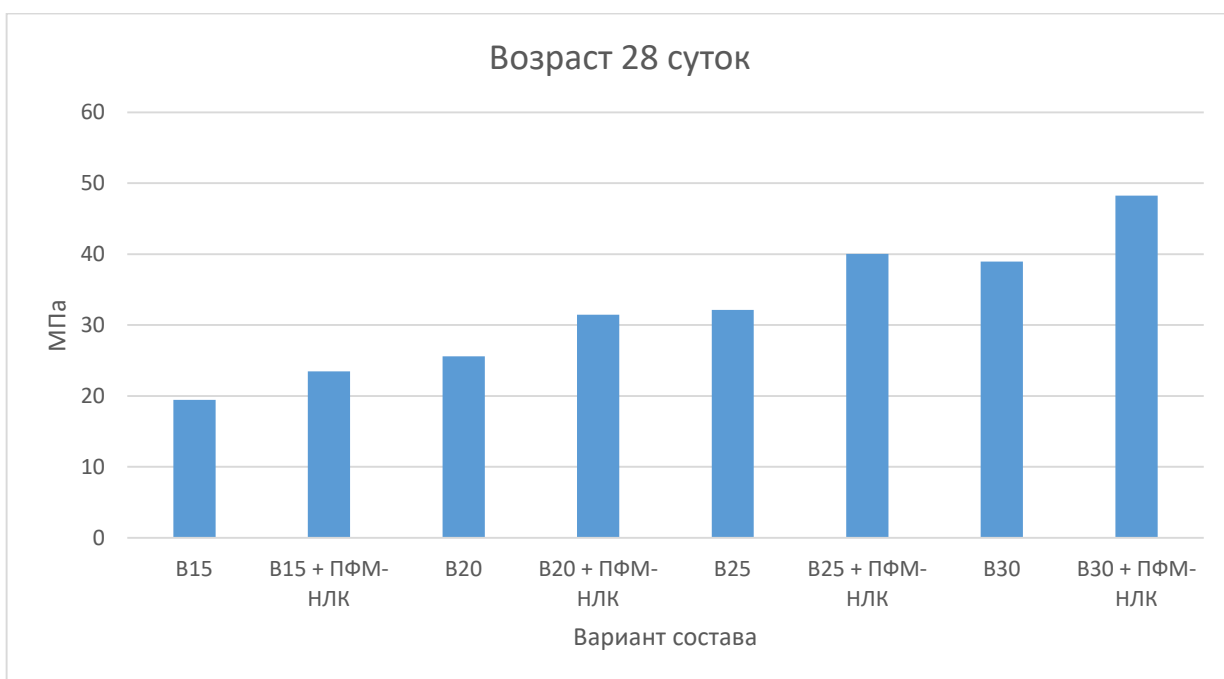


Рисунок 6 – Гистограмма по результатам испытаний образцов с добавкой и без в возрасте 28 суток

Таким образом можно сделать вывод о том, что в проектном возрасте бетон с наличием в составе модификатора имеет прочность в среднем на 25% больше чем бетон без наличия модификатора, причем стоит отметить то, что при увеличении класса бетона (увеличении расхода цемента), прирост прочности увеличивается.

Так же стоит отметить, что при испытании образцов, изготовленных из кернов, которые были отобраны из конструкций, непосредственно на объекте строительства Ленского НГКМ, на прочность при сжатии, прочность не достигала проектной, что свидетельствует о нарушении технологии изготовления бетонной смеси

5.3.2 Результаты испытаний образцов бетона на морозостойкость

Таблица 29 – Результаты испытаний образцов бетона класса В15 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике	Фактические значения	Соответствие характеристики нормативной документации
Образцы-кубы размером 100х100х100 мм – 12 шт	Наличие шелушение после 3-го цикла	-	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Соответствует
	Уменьшение массы основных образцов после 3-го цикла	%	Для марки по морозостойкости F ₁₀₀ : Не более 2	1,68	Соответствует
	Нижняя граница доверительного интервала для контрольных образцов, X ^I _{min}	МПа	-	29,0	Не нормируется
	0,9·X ^I _{min}		-	26,1	Не нормируется
	Нижняя граница доверительного интервала для основных образцов после 3-го цикла, X ^{II} _{min}		-	28,6	Не нормируется
	Соотношение X ^{II} _{min} ≥ 0,9·X ^I _{min}	-	Соответствие соотношению	28,6 ≥ 26,1	Соответствует марке по морозостойкости F ₁₀₀

Контрольные образцы-кубы бетона класса В15 без модификатора выдержали испытание и соответствуют марке по морозостойкости F₁₀₀

При испытании на морозостойкость образцов-кубов бетона класса В15 без модификатора, на соответствие марки F₁₀₀, образцы-кубы бетона начали разрушаться после 4-го цикла испытания.

Таблица 30 – Результаты испытаний образцов бетона класса В15 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике	Фактические значения	Соответствие характеристики нормативной документации
Образцы-кубы размером 100х100х100 мм – 12 шт	Среднее значение прочности контрольных образцов, X ^I _{ср}	МПа	-	36,0	Не нормируется
	Среднее значение прочности основных образцов после 8-го цикла, X ^{II} _{ср}		-	34,2	Не нормируется
	Наличие шелушение после 8-го цикла	-	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Соответствует
	Уменьшение массы основных образцов после 8-го цикла	%	Для марки по морозостойкости F ₁₀₀ : Не более 2	0,12	Соответствует
	Нижняя граница доверительного интервала для контрольных образцов, X ^I _{min}	МПа	-	32,0	Не нормируется
	0,9·X ^I _{min}		-	28,8	Не нормируется
	Нижняя граница доверительного интервала для основных образцов после 8-го цикла, X ^{II} _{min}		-	31,5	Не нормируется
	Соотношение X ^{II} _{min} ≥ 0,9·X ^I _{min}	-	Соответствие соотношению	31,5 ≥ 28,8	Соответствует марке по морозостойкости F ₁₀₀

Контрольные образцы кубы-бетона класса В15 с модификатором выдержали испытание и соответствуют марке по морозостойкости F₁₃₀₀

Таблица 31 – Результаты испытаний образцов бетона класса В20 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике	Фактические значения	Соответствие характеристики нормативной документации
Образцы-кубы размером 100х100х100 мм – 12 шт	Наличие шелушение после 3-го цикла	-	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Соответствует
	Уменьшение массы основных образцов после 3-го цикла	%	Для марки по морозостойкости F ₁₀₀ : Не более 2	1,71	Соответствует
	Нижняя граница доверительного интервала для контрольных образцов, X ^I min	МПа	-	29,0	Не нормируется
	0,9·X ^I min		-	26,1	Не нормируется
	Нижняя граница доверительного интервала для основных образцов после 3-го цикла, X ^{II} min		-	28,6	Не нормируется
	Соотношение X ^{II} min ≥ 0,9·X ^I min	-	Соответствие соотношению	28,6 ≥ 26,1	Соответствует марке по морозостойкости F ₁₀₀

Контрольные образцы-кубы бетона класса В20 без модификатора выдержали испытание и соответствуют марке по морозостойкости F₁₀₀

При испытании на морозостойкость образцов-кубов бетона класса В20 без модификатора, на соответствие марки F₁₂₀₀, образцы-кубы бетона начали разрушаться после 4-го цикла испытания.

Таблица 32 – Результаты испытаний образцов бетона класса В20 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике	Фактическое значения	Соответствие характеристики нормативной документации
Образцы-кубы размером 100х100х100 мм – 12 шт	Среднее значение прочности контрольных образцов, X^I_{cp}	МПа	-	36,0	Не нормируется
	Среднее значение прочности основных образцов после 8-го цикла, X^{II}_{cp}		-	34,2	Не нормируется
	Наличие шелушение после 8-го цикла	-	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Соответствует
	Уменьшение массы основных образцов после 8-го цикла	%	Для марки по морозостойкости F ₁ 300: Не более 2	1,02	Соответствует
	Нижняя граница доверительного интервала для контрольных образцов, X^I_{min}	МПа	-	32,0	Не нормируется
	$0,9 \cdot X^I_{min}$		-	28,8	Не нормируется
	Нижняя граница доверительного интервала для основных образцов после 8-го цикла, X^{II}_{min}	-	-	30,1	Не нормируется
	Соотношение $X^{II}_{min} \geq 0,9 \cdot X^I_{min}$	-	Соответствие соотношению	$30,1 \geq 28,8$	Соответствует марке по морозостойкости F ₁ 300

Контрольные образцы кубы-бетона класса В20 с модификатором выдержали испытание и соответствуют марке по морозостойкости F₁300

Таблица 33 – Результаты испытаний образцов бетона класса В25 без модификатора

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике	Фактическое значения	Соответствие характеристики нормативной документации
Образцы-кубы размером 100х100х100 мм – 12 шт	Наличие шелушение после 3-го цикла	-	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Соответствует
	Уменьшение массы основных образцов после 3-го цикла	%	Для марки по морозостойкости F ₁ 100: Не более 2	1,45	Соответствует
	Нижняя граница доверительного интервала для контрольных образцов, X ^I min	МПа	-	29,0	Не нормируется
	0,9·X ^I min		-	26,1	Не нормируется
	Нижняя граница доверительного интервала для основных образцов после 3-го цикла, X ^{II} min		-	28,6	Не нормируется
	Соотношение X ^{II} min ≥ 0,9·X ^I min	-	Соответствие соотношению	28,6 ≥ 26,1	Соответствует марке по морозостойкости F ₁ 100

Контрольные образцы-кубы бетона класса В25 без модификатора выдержали испытание и соответствуют марке по морозостойкости F₁100

При испытании на морозостойкость образцов-кубов бетона класса В25 без модификатора, на соответствие марки F₁200, образцы-кубы бетона начали разрушаться после 4-го цикла испытания.

Таблица 34 – Результаты испытаний образцов бетона класса В25 с модификатором

Объект испытаний	Определяемые характеристики	Ед. изм.	Требование к характеристике	Фактическое значения	Соответствие характеристики нормативной документации
Образцы-кубы размером 100х100х100 мм – 12 шт	Среднее значение прочности контрольных образцов, X^I_{cp}	МПа	-	36,0	Не нормируется
	Среднее значение прочности основных образцов после 8-го цикла, X^{II}_{cp}		-	34,2	Не нормируется
	Наличие шелушение после 8-го цикла	-	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Отсутствие трещин, шелушения ребер	Соответствует
	Уменьшение массы основных образцов после 8-го цикла	%	Для марки по морозостойкости F ₁ 300: Не более 2	0,05	Соответствует
	Нижняя граница доверительного интервала для контрольных образцов, X^I_{min}	МПа	-	32,0	Не нормируется
	$0,9 \cdot X^I_{min}$		-	28,8	Не нормируется
	Нижняя граница доверительного интервала для основных образцов после 8-го цикла, X^{II}_{min}	-	-	30,1	Не нормируется
	Соотношение $X^{II}_{min} \geq 0,9 \cdot X^I_{min}$	-	Соответствие соотношению	$30,1 \geq 28,8$	Соответствует марке по морозостойкости F ₁ 300

Контрольные образцы кубы-бетона класса В25 с модификатором выдержали испытание и соответствуют марке по морозостойкости F₁300

Таким образом можно сделать вывод о том, что модификатор ПФМ-НЛК позволяет повысить морозостойкость бетона более чем в 2 раза без увеличения расхода цемента и снизить водопотребность бетонной смеси более чем на 30%. Для обеспечения получения качественного материала рекомендуется предварительно изготавливать водный раствор с ПФМ-НЛК, в случае добавления

модификатора «в сухую», рекомендуется перемешивать бетонную смесь не менее 5 минут.

Так же стоит отметить, что при испытании образцов, изготовленных из кернов, которые были отобраны из конструкций, непосредственно на объекте строительства Ленского НГКМ, на морозостойкость, фактическая марка по морозостойкости оказалась существенно ниже проектной, что свидетельствует о нарушении технологии изготовления бетонной смеси.

ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЧАСТИ

1. Одним из факторов высокой прочности и морозостойкости тяжелого бетона является правильно подобранные материалы, которые должны соответствовать требованиям ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия». Инертные материалы и вода затворения, применяемые в моей исследовательской работе, были испытаны на ряд показателей.

2. Результаты испытаний пробы песка подтверждают, что песок с карьера «Пеледуйский» относится ко II классу, группа песка - средний. В соответствии с ГОСТ 26633-2015 песок может быть применен в качестве мелкого заполнителя при изготовлении бетонных смесей.

3. Результаты испытаний пробы щебня подтверждают, что щебень смеси фракций св. 5 до 20 мм, производства карьер «Барзасский» соответствует требованиям ГОСТ 8267-93 и может быть применен в качестве крупного заполнителя при изготовлении бетонных смесей.

4. Результаты испытаний пробы воды, отобранной из емкости для хранения воды на БРУ Ленского НГКМ, подтверждают, что вода соответствует ГОСТ 26633-2015 и может быть применена в качестве воды затворения при изготовлении бетонных смесей.

5. Для обеспечения получения качественного материала рекомендуется предварительно изготавливать водный раствор с ПФМ-НЛК. Это связано с тем, что водный раствор более эффективно, по сравнению с использованием сухой добавки, приводит к образованию на поверхностях частиц цемента и тонкодисперсной фракции заполнителей мономолекулярных адсорбционных оболочек, снижающих внутреннее трение в бетонной смеси, что позволяет получить более плотную структуру бетона и повышенную прочность.

6. При сравнении результатов испытаний на прочность при сжатии контрольного состава и состава с модификатором, можно сделать вывод, что при наборе прочности в возрасте семи суток, наличие модификатора в составе, практически не влияет на фактическое значение прочности. Это связано с тем,

что в присутствии добавки ПМФ-НЛК замедляется процесс гидратации цемента в ранние сроки и, соответственно, приводит к соответствующему замедлению процессов структурообразования.

7. В проектном возрасте составы с модификатором достигают прочности на 20...25% больше, чем контрольные составы. Это происходит в результате быстрого развития поверхности новообразований во время гидратации цемента, приводящее к уменьшению толщины пленки добавки на поверхности частиц и к образованию плотного прочного кристаллического сростка.

8. При сравнении результатов испытаний на определение марки по морозостойкости контрольных составов и составов с модификатором видно, что наличие добавки-модификатора ПМФ-НЛК в составе, увеличивает марку по морозостойкости более чем в два раза.

9. В соответствии с выше изложенными выводами, можно сделать заключение, что полифункциональный модификатор ПМФ-НЛК изменяет реологические свойства цементной системы, способствует сокращению ее водопотребности, что в дальнейшем отражается на параметрах кристаллизационной структуры, делая ее более плотной, в соответствии с этим ПМФ-НЛК является эффективной добавкой.

6 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

В данном разделе рассмотрены используемые экономические термины, а также приведен расчет себестоимости 1 м³ бетона, без и с применением добавки-модификатора ПФМ-НЛК.

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 35 – Цены на сырьевые материалы

Перечень материалов	Стоимость
Цемент ЦЕМ I 42,5Н	5 000 руб/т
Песок	180 руб/т
Щебень	290 руб/т
Модификатор ПФМ-НЛК	97 000 руб/т
Вода	11 руб/м ³

Таблица 36 – Расход и калькуляция материалов на 1 м³ бетонной смеси В25, ПЗ без использования модификатора ПФМ-НЛК

Материал	Ед. изм.	Норма расхода на 1 м ³	Стоимость, руб.
Цемент ЦЕМ I 42,5Н	т	0,450	2 250
Песок	т	0,940	169,2
Щебень	т	0,900	261

Продолжение таблицы 36

Материал	Ед. изм.	Норма расхода на 1 м ³	Стоимость, руб.
Вода	т	0,270	2,97
ИТОГО			2 683,17

Таблица 37 – Расход и калькуляция материалов на 1 м³ бетонной смеси В25, ПЗ с использованием модификатора ПФМ-НЛК

Материал	Ед. изм.	Норма расхода на 1 м ³	Стоимость, руб.
Цемент ЦЕМ I 42,5Н	т	0,450	2 250
Песок	т	0,940	169,2
Щебень	т	0,900	261
Вода	т	0,175	1,92
Модификатор ПФМ-НЛК	т	0,0027	261,9
ИТОГО:			2944,3

Из приведенных расчетов видно, что при использовании модификатора в составе бетона затраты на производство 1 м³ бетонной смеси В25 ПЗ увеличились на 261,12 рублей.

На основе полученных результатов, можно сделать вывод, что производство бетонной смеси с использованием модификатора дороже, несмотря на снижение водопотребности. Однако, если учитывать прирост прочности и морозостойкости, который дает наличие в смеси модификатора, то экономический эффект достигается снижением материалоемкости, уменьшением энерго- и трудозатрат, значительным увеличением долговечности, и, как следствие, увеличением срока межремонтной эксплуатации и снижением эксплуатационных расходов, связанных с функционированием зданий и сооружений и с проведением ремонтных работ, что стало возможным благодаря обеспечению высоких, ранее недостижимых показателей эксплуатационной надежности бетона.

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].

7.2 Техника безопасности при работе с добавками

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.

Попадание противоморозных добавок или их растворов на кожу, в глаза, дыхательные пути и пищу приводит к поражениям кожного покрова или слизистой оболочки и может вызвать тяжелое заболевание.

В случае попадания на кожу раствора противоморозной добавки или бетонной смеси с противоморозной добавкой необходимо удалить оставшуюся на коже жидкость тампоном из сухой ваты, а затем промыть участок кожи теплой водой и мылом. В помещениях для складирования добавок и приготовления их водных растворов должны быть вывешены правила безопасности работы, а также правила оказания первой помощи пострадавшему[32].

В помещениях для хранения добавок, приготовления их водных растворов и бетонных смесей с добавками, следует предусмотреть приточно-вытяжную вентиляцию, а при необходимости – местных отсосов. В случае применения добавок нитрита натрия, ННК, ННХК, НК, НКМ и поташа воздухообмен должен быть 10 – 15-кратным.

Рабочие, занятые приготовлением растворов добавок, должны работать в спецодежде из водоотталкивающей ткани, в очках, резиновых сапогах и резиновых перчатках. Работающие с кристаллическим нитритом натрия и поташем должны обеспечиваться противопыльным респиратором. Для работающих на погрузочно- разгрузочных работах с кристаллическим нитритом натрия, а также на приготовлении растворов нитрита натрия, ННК и ННХК должны быть предусмотрены специальные бытовые помещения со шкафчиками для рабочей и личной одежды, отделенными друг от друга.

Не следует допускать к работе с нитритом натрия, НК» ННК, НКМ, ННХК и поташа и их водными растворами людей с повреждением кожного покрова (ссадины, ожоги и т. п.), раздражением век и глаз.

К работе с указанными добавками допускаются лица не моложе 18 лет.

Особенно ядовитым является нитрит натрия. Его попадание в организм вызывает тяжелые поражения (расширение кровеносных сосудов, образование в крови мета-гемоглобина), опасные для жизни. Характерные признаки отравления — слабость, тошнота, головокружение, снижение зрения, посинение кончиков пальцев и носа через 10—15 мин после попадания нитрита натрия в организм.

При отравлении нитритом натрия пострадавшего необходимо немедленно эвакуировать в ближайший пункт медицинской помощи либо вызвать машину скорой помощи. До ее прибытия следует оказать пострадавшему первую помощь.

При укладке бетонной смеси с противоморозными добавками необходимо особое внимание обращать на исправность электроинструмента и проводов ввиду повышенной электропроводности бетонов с добавками.

7.3 Техника безопасности при работе с добавками «ПФМ-НЛК»

Добавка «ПФМ-НЛК» является веществом умеренно опасным и относится к 3-му классу опасности по ГОСТ 12.1.007. Добавка не образует токсичных соединений в воздушной среде и сточных водах. 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 «ПФМ-НЛК» и бетонных смесей необходимо предусматривать приточно-вытяжную вентиляцию.

Добавка в форме порошка – вещество горючее (температура самовоспламенения аэрозвеси 615°C). В помещении, где проводятся работы с порошкообразной добавкой «ПФМ-НЛК», не рекомендуется пользоваться открытым огнем и производить электросварочные работы.

Добавка «ПФМ НЛК» оказывает раздражающее действие на слизистые оболочки органов зрения, 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.

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что в лабораторных условиях подобранные составы с модификатором ПФМ-НЛК являются более эффективными. Комплексный модификатор ПФМ-НЛК позволяет решить одну из самых главных задач – долговечность бетона, обеспечивая длительную устойчивость конструкций из бетона к воздействию агрессивных сред, циклических замораживаний и оттаиваний, солей и реагентов, что особенно актуально для северных регионов. Однако в условиях реального строительства не всегда соблюдается технология изготовления бетонных смесей, до сих пор в некоторых отраслях, при изготовлении бетона не используются добавки-модификаторы.

В регионах Крайнего Севера не всегда есть возможность использовать качественные материалы, поэтому при строительстве, особенно на таких ответственных объектах, как Ленское нефтегазоконденсатное месторождение, где изготавливаются такие конструкции как, фундаментные площадки резервуаров для хранения воды и нефти, которые будут выдерживать массы в несколько тысяч тонн, ростверки на площадках сепараторов, фундаменты под нефтегазоводораспределитель «Хитер-Тритер» и другие конструкции, необходим сплошной лабораторный контроль всех материалов поступающих на объект строительства, технический надзор по работе бетонно-распределительного узла, по бетонным работам на строительной площадке и контролю качества ухода за бетоном.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам – М: Стандартинформ, 2013. – 31 с.
2. ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности – М : Стандартинформ, 2011. – 11 с.
3. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия– М : Стандартинформ, 2012. – 11 с.
4. ГОСТ 25192-2012 Бетоны. Классификация и общие технические требования– М : Стандартинформ, 2013. – 4 с.
5. ГОСТ 26134-2016 Бетоны. Ультразвуковой метод определения морозостойкости– М : Стандартинформ, 2016. – 10 с.
6. ГОСТ 27006-2019 Бетоны. Правила подбора состава – М : Стандартинформ, 2019. – 11 с.
7. ГОСТ 24211–2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М: Стандартинформ, 2007. – 10 с.
8. ГОСТ 30459–2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности. – М: Стандартинформ, 2007. – 10 с.
9. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 325 с.
10. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Технопроект, 1998. – 768 с.
11. Батраков, В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / В.Г. Батраков // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 5–7.
12. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества. (Технология и свойства). Учебник для вузов. А.В. Волженский, Ю.С Буров, В.С. Колокольников. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.
13. ГОСТ 7473-2010 Смеси бетонные. Технические условия.– М : Стандартинформ, 2010. – 10 с.

14. ГОСТ Р 57808-2017 Испытания бетонной смеси. Часть 1. Отбор проб. – М: Стандартинформ, 2017. – 13 с
15. Касторных, Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: учеб.-справ. пособие / Л.И. Касторных. – Ростов н/Д.: Феникс, 2005.
16. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 17с
17. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М.:Стандартинформ, 2003. – 34 с.
18. ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 17 с.
19. ГОСТ 12730.1-78. Бетоны. Методы определения плотности. – М.: Издво стандартов, 2002. – 4 с.
20. Добролюбов, Г. Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г.Добролюбов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1983. – 213 с.
21. Шейкин, А.Е. Структура и свойства цементных бетонов /А.Е.Шейкин,Ю.В.Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 343 с.
22. Шестоперов, С.В. Долговечность бетона /С.В. Шестоперов.М.: Автотрансиздат, 1955. – 478 с.
23. Добролюбов, Г. Прогнозирование долговечности бетона с добавками / Г. Добролюбов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1983.
24. Руководство по применению бетонов с противоморозными добавками. – М.: Стройиздат, 1978
25. Химические и минеральные добавки в бетон / под ред. А.В. Ушерова-Маршака. – Харьков: Колорит, 2005.
26. Миронов, С.А. Фазовые превращения воды, гидратация и твердение цемента и бетона на морозе. //Зимнее бетонирование и тепловая обработка. М-Стройиздат, 1975. С. 26-58
27. ГОСТ 12.1.005 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» – М: Стандартинформ, 2017. – 75 с

28. СНиП 2.04.05-91* «Отопление, вентиляция и кондиционирование» – М: Стандартинформ, 2017. – 65 с

29. СНиП 23-05-95*(СП52.13330.20011) «Естественное и искусственное освещение» – М: Стандартинформ, 2017. – 37 с

30. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному и искусственному освещению жилых и общественных зданий» – М: Стандартинформ, 2017. – 29 с

31. ГОСТ12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности» – М: Стандартинформ, 2017. – 37 с

32. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» – М: Стандартинформ, 2017. – 69 с

33. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Методы испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 25 с.